



## Kernekraft og nuklear sikkerhed 2003

Lauritzen, Bent; Majborn, Benny; Nonbøl, Erik; Ølgaard, Povl Lebeck

*Publication date:*  
2004

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Lauritzen, B., Majborn, B., Nonbøl, E., & Ølgaard, P. L. (2004). *Kernekraft og nuklear sikkerhed 2003*. Risø National Laboratory. Denmark. Forskningscenter Risø. Risø-R No. 1459(DA)

---

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# Kernekraft og nuklear sikkerhed 2003

Redigeret af B. Lauritzen, B. Majborn, E. Nonbøl og  
P.L. Ølgaard



Forskningscenter Risø, Roskilde  
Marts 2004

**Resumé** Rapporten er den første rapport i en ny serie af årlige rapporter, der erstatter den tidligere serie, ”International kernekraftstatus”. Rapporten er udarbejdet af medarbejdere ved Forskningscenter Risø og Beredskabsstyrelsen og omhandler den internationale udvikling inden for kernekraft med særlig vægt på sikkerhedsmæssige forhold og nukleart beredskab. Rapporten for 2003 dækker følgende emner: Status for kernekraftens el-produktion og regionale tendenser, udvikling af reaktorer og beredskabssystemer, sikkerhedsrelaterede hændelser ved kernekraft samt internationale forhold og konflikter.

Forsidebilledet viser modelbillede af Finlands kommende femte reaktorenhed, Olkiluoto-3, placeret i tilknytning til de to eksisterende enheder ved Olkiluoto.

ISBN 87-550-3305-9  
ISBN 87-550-3306-7 (Internet)  
ISSN 0106-2840  
ISSN 1395-5101

Print: Pitney Bowes Management Services Denmark A/S, 2004

# Indhold

## **Forord 4**

### **1 International kernekraftstatus 5**

#### 1.1 Kernekraftens el-produktion 5

#### 1.2 Regionale tendenser 8

### **2 Udvikling af reaktorer og sikkerhed 20**

#### 2.1 Reaktorudviklingen 20

#### 2.2 Udvikling af beredskabssystemer 23

### **3 Nuklear sikkerhed 27**

#### 3.1 Sikkerhedsrelaterede hændelser ved kernekraft 27

#### 3.2 Internationale forhold og konflikter 29

## **APPENDIKS A: INES, den internationale skala for uheld på nukleare anlæg 33**

## **APPENDIKS B: Internationale organisationer 35**

## **APPENDIKS C: Anvendte forkortelser 38**

# Forord

”Kernekraft og nuklear sikkerhed 2003” er den første rapport i en ny serie af årlige rapporter, der erstatter den tidligere serie, ”International kernekraftstatus”. Rapporten er udarbejdet i samarbejde mellem Forskningscenter Risø og Beredskabsstyrelsen og har til formål at informere myndigheder, medier og offentlighed om den internationale udvikling inden for kernekraft med særlig vægt på sikkerhedsmæssige forhold og nukleart beredskab.

I forhold til den tidligere rapportserie er den nye udgave mindre omfattende. Beskrivelsen af de enkelte landes aktiviteter er således gjort mindre detaljeret og den detaljerede beskrivelse af reaktortyper er udgået. Det nukleare brændselskredsløb og temaet radioaktivt affald behandles ikke i rapporten, hvilket er en følge af, at ansvaret for dekommissionering af Risøs nukleare anlæg og behandling af radioaktivt affald i Danmark i 2003 er overgået til Dansk Dekommissionering. Derimod er et nyt afsnit om udviklingen af europæiske beredskabssystemer tilføjet. Rapporten for 2003 dækker dermed følgende emner: Status for kernekraftens el-produktion og regionale tendenser, udvikling af reaktorer og beredskabssystemer, sikkerhedsrelaterede hændelser ved kernekraft samt internationale forhold og konflikter.

Følgende medarbejdere fra Risø og Beredskabsstyrelsen (BRS) har bidraget til denne rapport med de afsnit, der er nævnt i parentes efter deres navn:

Dan Kampmann	BRS	(2.2 og 3.1)
Poul Erik Nystrup	BRS	(1.2)
Anders Damkjær	Risø	(3.2)
Bent Lauritzen	Risø	(1.1 og 1.2)
Benny Majborn	Risø	(1.2)
Erik Nonbøl	Risø	(1.1, 1.2 og 2.1)
Povl L. Ølgaard	Risø	(1.2)

# 1 International kernekraftstatus

## 1.1 Kernekraftens el-produktion

Verdens samlede installerede kernekraftkapacitet steg i 2002 fra 351 GWe ved årets begyndelse til 359 GWe ved udgangen af året. Den producerede energi fra kernekraft steg fra 2543 TWh i 2001 til 2574 TWh i 2002, en stigning på ca. 1 %.

I 2003 blev fem enheder lukket, nemlig Stade i Tyskland, en 640 MWe PWR, og fire Magnox-enheder i Calder Hall i Storbritannien, hver på 50 MWe. Kun en enkelt ny enhed blev koblet på nettet i 2003, Qinshan 3-2 i Kina, en CANDU-enhed på 660 MWe. Der er verden over 437 enheder i drift pr. 1/1 2004.

Letvandsreaktorerne dominerer billedet med hensyn til antal reaktorer i drift: Ud af de 437 reaktorer er der 262 trykvandsreaktorer og 93 kogendevandsreaktorer. Tungtvandsreaktorerne udgør 36 enheder, de gaskølede 26, den russiske RBMK 17 og hurtigreaktorerne 3.

Tabel 1.1 viser den regionale fordeling af kernekraftenheder samt den installerede kernekrafteffekt, og i Tabel 1.2 er fordelingen på de enkelte lande vist. Den installerede effekt er beregnet pr. 1/1 2003, men er korrigeret for den nye enhed i Kina samt de fem lukkede enheder i Storbritannien og Tyskland. Endvidere er vist den producerede energi i 2002 fra kernekraft og kernekraftens procentvise andel af den totale el-produktion i de enkelte lande og regioner.

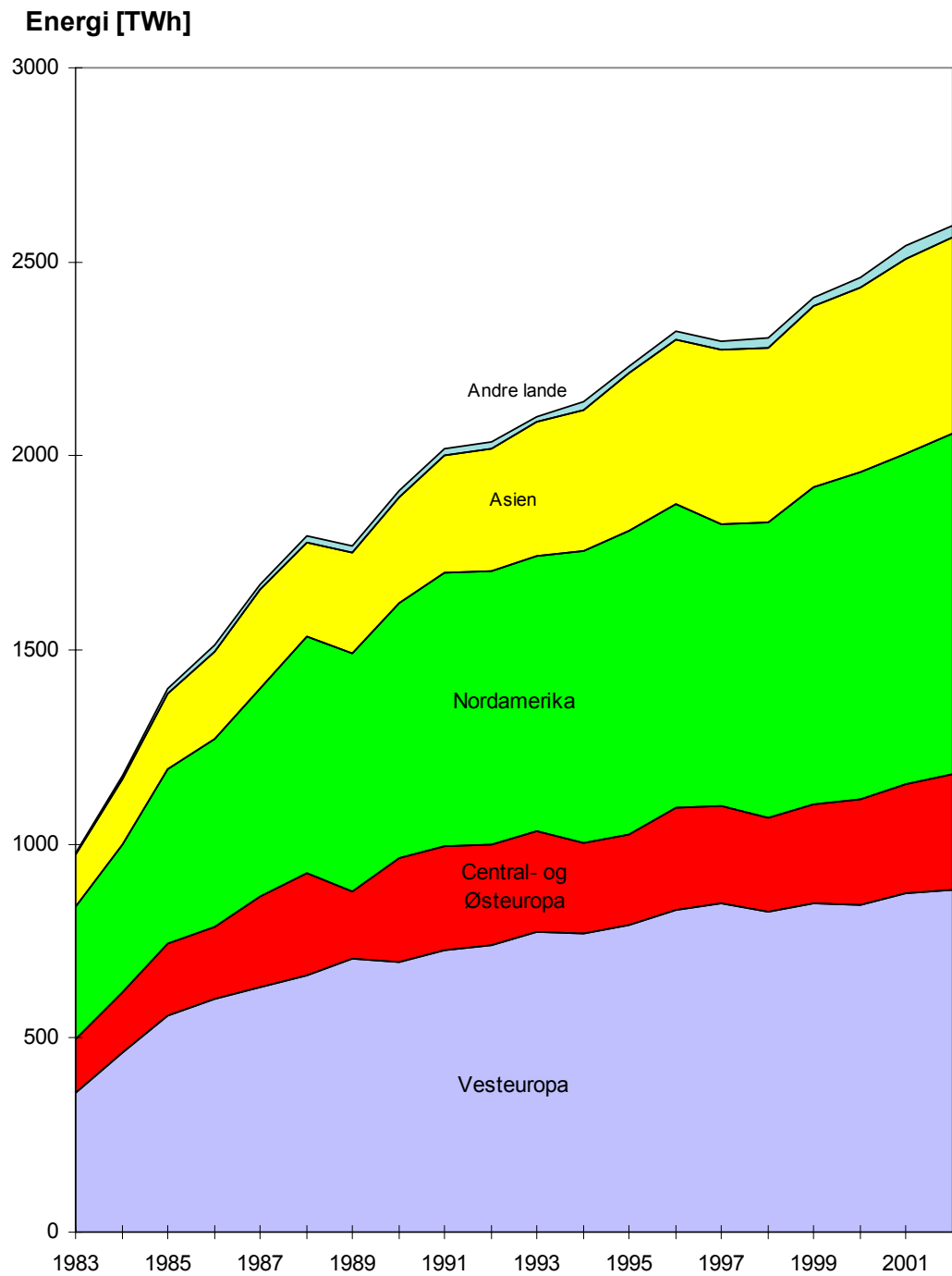
Figur 1.1 viser udviklingen i den producerede energi fra kernekraft i perioden 1983 til 2002.

*Tabel 1.1. Antal kernekraftenheder, installeret effekt og produceret energi samt kernekraftens andel af el-produktionen i forskellige regioner i verden.*

	Antal enheder	Installeret effekt (GWe)	Produceret energi 2002 (TWh)	Andel af el-produktion 2002 (%)
Vesteuropa	141	125,2	880,3	30,5
Central- og Østeuropa	68	46,6	298,5	18,4
Nordamerika	120	109,6	860,4	19,1
Asien	102	73,0	503,9	12,1
Andre lande	6	4,6	31,2	-
<b>Globalt</b>	<b>437</b>	<b>358,8</b>	<b>2574</b>	<b>16,9</b>

*Tabel 1.2. Antal kernekraftenheder, installeret effekt og produceret energi samt kernekraftens andel af el-produktionen i de enkelte lande.*

	Antal enheder	Installeret effekt (GWe)	Produceret energi 2002 (TWh)	Andel af el-produktion 2002 (%)
<b>Vesteuropa</b>				
Belgien	7 PWR	5,8	44,7	57,3
Finland	2 BWR, 2 VVER	2,7	21,4	29,8
Frankrig	1 FBR, 58 PWR	63,1	415,5	78,0
Holland	1 BWR	0,5	3,7	4,0
Tyskland	6 BWR, 12 PWR	20,6	162,3	29,9
Schweiz	2 BWR, 3 PWR	3,2	25,7	39,5
Spanien	2 BWR, 7 PWR	7,6	60,3	25,8
Storbritannien	1 PWR, 12 GCR, 14 AGR	12,1	81,1	22,4
Sverige	8 BWR, 3 PWR	9,4	65,6	45,8
<b>Central- og Østeuropa</b>				
Armenien	1 VVER	0,4	2,1	40,5
Bulgarien	4 VVER	2,7	20,2	47,3
Litauen	2 RBMK	2,4	12,9	80,1
Rumænien	1 PHWR	0,7	5,1	10,3
Rusland	15RBMK, 14 VVER, 1 FBR	20,8	130,0	16,0
Slovakiet	6 VVER	2,4	18,0	54,7
Slovenien	1 PWR	0,7	5,3	40,7
Tjekkiet	6 VVER	3,5	18,7	24,5
Ukraine	13 VVER	11,2	73,4	45,7
Ungarn	4 VVER	1,8	12,8	36,1
<b>Nordamerika</b>				
Canada	14 PHWR	10,0	71,0	12,3
Mexico	2 BWR	1,4	9,4	4,1
USA	69 PWR, 35 BWR	98,2	780,0	20,3
<b>Asien</b>				
Indien	2 BWR, 12 PHWR	2,5	17,8	3,7
Japan	23 PWR, 29 BWR, 1FBR, 1 HWLWR	44,3	314,0	34,5
Kina	6 PWR, 2 PHWR	6,0	23,4	1,4
Pakistan	1 PWR, 1 PHWR	0,4	1,8	2,5
Sydkorea	14 PWR, 4 PHWR	14,9	113,0	38,6
Taiwan	6 PWR	4,9	33,9	20,5
<b>Andre lande</b>				
Argentina	2 PHWR	0,9	5,4	7,2
Brasilien	2 PWR	1,9	13,8	4,0
Sydafrika	2 PWR	1,8	12,0	5,9



*Figur 1.1. Udviklingen i den samlede producerede energi fra kernekraft inden for forskellige geografiske regioner.*



## 1.2 Regionale tendenser

### Vesteuropa

#### *Belgien*

Belgiens overhus (Senatet) vedtog i januar 2003 en lov om gradvis afvikling af kernekraft, med start i 2015. Loven er tidligere vedtaget i underhuset og betyder, at Belgiens eksisterende syv kernekraftenheder nedlukkes efter maksimalt 40 års drift. Med vedtagelsen er Belgien det tredje europæiske land, efter Sverige i 1984 og Tyskland i 2002, der lovgiver om afvikling af kernekraft. Endelig afvikling vil ske med lukningen af Tihange-3 senest i 2025.

#### *Finland*

Det finske el-selskab TVO fik i 2002 tilladelse til at opføre landets femte kernekraft-enhed. Enheden, Olkiluoto-3, vil blive opført i tilknytning til de to BWR-enheder i Olkiluoto ved byen Eurajoki i det sydvestlige Finland og bliver udstyret med det fransk/tyske Framatome ANP's 1600 MWe trykvandsreaktor EPR (European Pressurized Reactor). Byggeriet af enheden vil øge den installerede kernekraftkapacitet i Finland med ca. 60 % og vil væsentligt medvirke til at begrænse landets import af elektricitet. Finland importerede i 2002 ca. 15 % af sit el-forbrug.

Framatome's EPR blev valgt i konkurrence med Framatome's kogendevandsreaktor SWR 1000 (ca. 1200 MWe), General Electric's ESBWR (1400 MWe), og det russiske Atomstroieksport's VVER 91/99 (1000 MWe). Med valget af Framatome's EPR design, oprindeligt fra 1980'erne, bliver det første gang, at denne reaktortype bliver anvendt. Medvirkende til valget af EPR er, at TVO ønsker en så stor enhed som muligt, da der er en stor og voksende efterspørgsel på produktionskapacitet i det nordiske el-marked, hvorimod det anses for usikkert, om der politisk kan træffes beslutning om yderligere udbygning af kernekraft inden for en overskuelig fremtid.

Produktionsprisen for Olkiluoto-3 er ikke offentliggjort, men de samlede omkostninger ved byggeriet er tidligere af TVO anslået til at blive 1,75 – 2,5 mia. Euro, svarende til en produktionspris på op til 1.550 Euro per installeret kilowatt. Enheden vil blive bygget af et konsortium bestående af franske AREVA og tyske Siemens AG, mens 40 % af entreprisen vil udbydes til finske underleverandører. Enheden leveres som et nøglefærdigt projekt, hvor Framatome ANP leverer reaktoren, mens Siemens AG står for de ikke-nukleare (konventionelle) dele af anlægget. Byggeriet af enheden vil kunne starte allerede i 2004/05, og kommerciel drift ventes at påbegynde i 2009.

#### *Frankrig*

Hurtigreaktoren Phénix blev genstartet i juni 2003, efter fem års nedlukning. Phénix, der er Frankrigs ældste kraftreaktor, har gennemgået en større ombygning og forventes at fortsætte driften indtil endelig lukning i 2008. Reaktoren anvendes bl.a. til forskning med transmutation af langlivet radioaktivt affald.

I en "hvidbog" om energipolitik fra november 2003 peger regeringen på en fortsat udnyttelse af kernekraft i den franske energiforsyning. I hvidbogen fastlægges forsyningssikkerhed, en "stabil og moderat" elektricitetspris, samt en lav udledning af drivhusgasser som overordnede prioriteter for energiforsyningen. Som beslutningsgrundlag for en fremtidig erstatning af den nuværende generation af kernekraftenheder anbefaler hvidbogen, at en prototype af Framatome ANP's trykvandsreaktor EPR opføres med deltagelse af europæiske partnere.

I Frankrig er 78 % af el-forsyningen baseret på kernekraft, og Frankrig står overfor valget mellem at bygge "generation tre" kernekraftenheder (som EPR) fra ca. 2020, eller at forlænge levetiden af de eksisterende enheder til ca. 50-60 år for at kunne er-

statte dem med "generation fire" kernekraft-teknologi fra omkring 2040. Bygningen af en EPR demonstrations-facilitet vil medvirke til at bevare fransk kompetence på området, indtil en endelig beslutning om udbygning af kernekraft træffes.

### *Schweiz*

To forslag vedr. kernekraft blev i 2003 nedstemt ved en folkeafstemning. Det ene forslag, "moratorium plus", ville indebære en forlængelse af et 10-års moratorium for udbygning af kernekraft med yderligere 10 år, mens det andet forslag, "energi uden atomer", ville betyde gradvis afvikling af landets fem kernekraftenheder samt stop for oparbejdning af brugt brændsel. I tilslutning til folkeafstemningen vedtog parlamentet en lov, der indebærer, at kernekraft fortsat kan indgå i den schweiziske energiforsyning. Schweiz' el-produktion udgøres i dag af ca. 60 % vandkraft og 40 % kernekraft.

### *Storbritannien*

De oprindelige britiske Magnox reaktorer er løbende blevet udfaset, og denne udvikling er fortsat med lukningen af Bradwell-1 og -2 (2 x 125 MWe) i marts 2002, og Calder Hall (4 x 50 MWe) i marts 2003. Hinkley Point A (lukket i april 1999) fik i juli 2003 tilladelse til dekommissionering. Den længe planlagte udfasning af Magnox reaktorerne er blevet fremskyndet af økonomiske grunde, idet de forholdsvis små enheder er blevet urentable i et trængt britisk el-marked. Med lukningen af de fire Calder Hall enheder er 14 ud af oprindelig 26 Magnox reaktorer taget ud af drift. Calder Hall påbegyndte kommerciel produktion i 1956 og er verdens ældste kommercielle kernekraftværk.

Det privatiserede British Energy (BE) oparbejdede i finansåret 2002/03 et underskud på 4,3 mia. pund, hvilket især skyldtes en faldende el-pris samt store, uplanlagte produktionsstop. Afregningsprisen på elektricitet lå i 2002/03 under produktionsprisen fra BE's kernekraftværker. Stigende el-priser i sidste halvdel af 2003 er ikke kommet BE til gode, da selskabet i sidst i 2002, mens el-priserne var lave, forhåndssolgte sin forventede produktion indtil marts 2004. BE indgik i 2003 en aftale med sine kreditorer om en omstrukturering af selskabet, som bl.a. indebar frasalgs af BE's ejerandele i det canadiske Bruce Power og i amerikanske AmerGen. Derudover har BE løbende modtaget store kreditter fra den britiske regering. Med aftalen undgår BE at blive sat under administration af den britiske regering.

Det statslige selskab BNFL (British Nuclear Fuels Plc), der bl.a. driver Magnox reaktorerne, havde i 2003 et underskud på ca. 1,1 mia. pund, hvilket især skyldtes øgede hensættelser til dekommissionering af Hinkley Point og Bradwell kernekraftværkerne. Den tidligere planlagte privatisering af BNFL er blevet opgivet, set i lyset af den dårlige økonomi.

### *Sverige*

Den 19. august 2003 anmeldte den svenske kernekraftinspektion, SKI, Barsebäck-værket til anklagemyndigheden i Malmö med påstand om, at værket havde overtrådt den svenske kernetekniklov og SKI's forskrifter i forbindelse med en driftshændelse, som fandt sted omkring årsskiftet 2002/2003.

Under det årlige eftersyn i sommeren 2002 var der blevet installeret en ny type termiske blandere i de to fødevandsledninger. Formålet med disse er at sikre en tilstrækkelig opblanding af fødevandet med en temperatur på 180 °C og vandet fra det automatiske rensningssystem i reaktoren med en temperatur på 280 °C for derved at undgå, at der opstår termiske spændinger i rørvæggene. Driften var stabil hen til midten af november 2002, hvor man begyndte at konstatere afvigende vandstrømme i de to parallelle fødevandsledninger – en tilstand som ikke var normal. Ubalancen øgedes omkring nytår, uden at man kunne finde årsagen. Den 3. januar 2003 var vandstrømmene

i fødevandsledningerne så meget i ubalance, at systemet til beregning af nogle af reaktorens driftsparametre ikke længere fungerede. Først den 16. januar 2003 blev det besluttet at stoppe driften for nærmere at analysere årsagerne til ubalancen. Det viste sig, at dele af de termiske blandere havde revet sig løs og havde sat sig fast forskellige steder i rørledningerne og derved blokeret for en del af vandstrømmen.

De termiske blandere blev erstattet af en anden type, og Barsebäck-2 indledte driften igen den 7. marts. Samtidig krævede SKI en detaljeret redegørelse for hændelsesforløbet og de tiltag, som siden var gjort for at undgå gentagelser. Redegørelsen skulle være færdig inden opstarten efter eftersynet i sommeren 2003. Det var SKI's granskning af rapporten, som førte til ovenstående anmeldelse til retten i Malmö med den begrundelse, at værket skulle være standset allerede den 3. januar 2003, hvor flere driftsparametre lå uden for normalområdet. Hændelsen blev klassificeret til INES-1 på den internationale skala for uheld på nukleare anlæg, jf. appendiks A.

Først den 17. oktober fik Barsebäck-2 tilladelse til at starte igen efter at have gennemført en række forbedringer, som krævet af SKI, men driften skulle fortsat foregå under skærpet tilsyn, hvilket vil sige, at SKI har en inspektør på anlægget hele tiden. Opstarten fandt først sted den 11. december p.g.a. lækageproblemer i reaktorindeslutningen.

Siden 2001 har den svenske rigsdag hvert år taget stilling til, hvorvidt betingelserne for en endelig lukning af Barsebäck-2 var opfyldt. Betingelserne er, at el-besparelser og øget miljørigtig el-produktion i tilstrækkelig grad kan kompensere for en lukning af enheden. Heller ikke i 2003 mente rigsdagen, at betingelserne var opfyldt. Den svenske regering vil tage forslaget op igen i 2004.

Den seneste drejning i sagen er, at den svenske rigsdag har vedtaget, at Barsebäckværket nu skal indgå i de igangværende forhandlinger med industrien om en afviklingsplan for samtlige kernekraftværker i Sverige. Regeringen lægger op til en afviklingsplan af samme type som den tyske, hvor der må produceres en bestemt mængde elektricitet totalt fra kernekraft uden angivelse af tidspunkt for, hvornår den sidste reaktor skal være lukket. Forhandlingerne skal være afsluttet i foråret 2004. Den svenske regering har dog fortsat til hensigt at kræve Barsebäck-2 lukket længe før de øvrige enheder.

Den 23. september 2003 fandt et stort strømnedbrud sted, som ramte Sydsverige og Sjælland. Kl. 12.30 opstod der problemer på kernekraftenheden Oskarshamn-3 og enheden blev lukket ned manuelt, hvorved en produktion på 1200 MWe forsvandt fra nettet. Fem minutter senere indtraf et uheld på en koblingsstation syd for Göteborg, hvorved 4 stk. 400 kV ledninger faldt ud. Dette førte til, at blok 3 og 4 på kernekraftværket Ringhals automatisk lukkede ned, da de ikke kunne komme af med de 1800 MWe, de producerede. Forbruget i Sydsverige og Sjælland lige før kl. 12.30 krævede 6600 MWe. Med tre kernekraftenheder koblet ud manglede der 3000 MWe, hvorved frekvensen på nettet faldt så meget, at systemet brød sammen. Flere kabelforbindelser til Tyskland var afbrudt p.g.a. planlagt eftersyn, hvilket var med til at forværre situationen. Strømforsyningen i Danmark var først normal igen kl. 19.

I forbindelse med uheldet startede man for hurtigt op igen på Oskarshamn-3, hvorved man introducerede en utilsigtet termisk transient i reaktortanken. SKI beordrede herefter enheden nedlukket for at analysere transientens indvirkning på reaktortanken. Oskarshamn-3 fik først tilladelse til at starte igen den 18. november, efter at det var verificeret, at tanken ikke havde taget skade. SKI klassificerede hændelsen til INES-1.

Trods den svenske debat om afvikling af kernekraften overvejer værkerne at ansøge om opgradering af de eksisterende enheder. Alle svenske kernekraftværker skal have deres driftstilladelse fornyet, hvis de skal drives efter 2010. I forbindelse hermed forventes nogle værker at søge om forhøjelse af effekten, og beregninger har vist, at det

vil være muligt at opgradere de 11 svenske enheder med i alt 1000 MWe for en beskedne investering.

### *Tyskland*

Kernekraftværket Stade vest for Hamburg blev permanent lukket i november 2003. Nedlukningen af Stade, en 640 MWe PWR, blev annonceret af el-selskabet E.ON allerede i april 2000 og blev begrundet i en dårlig økonomi af værket samt i en for stor produktionskapacitet i det liberaliserede europæiske el-marked. Lukningen af værket er således ikke direkte relateret til loven fra 2002 om afvikling af tysk kernekraft.

Biblis A, en 1225 MWe PWR, har været nedlukket det meste af 2003, efter at det blev opdaget, at et filter i bunden af reaktorindeslutningen var underdimensioneret i forhold til de oprindelige specifikationer. Filtret benyttes ved recirkulation af nødkølevand, og der opstod tvivl om, hvorvidt nødkølesystemet ville fungere ved et tab-af-kølemiddel uheld. Filtret blev efterfølgende forstørret, men stridigheder mellem ejeren af værket, RWE, og de tyske forbundsmyndigheder om nødkølesystemets effektivitet førte til den langvarige nedlukning.

Myndighedernes tilsyn med kernekraftværkerne i Tyskland er i dag delt mellem den tyske forbundsregering og de enkelte delstater. Uenighed mellem disse myndigheder har i flere tilfælde ført til forsinkelser i udstedelsen af driftstilladelser, senest i tilfældet Biblis A. For at forenkle procedurerne for tilsyn og for udstedelse af driftstilladelser foreslog miljøminister Jürgen Trittin sidst på året at fratage delstaterne deres myndighedsfunktion. Dette tiltag betragtes af industrien som et forsøg fra forbundsregeringen (SPD/ De Grønne) på at accelerere udfasningen af kernekraft i Tyskland.

## **Central- og Østeuropa**

### *Armenien*

Armenien befinder sig i en meget vanskelig energisituation, idet konflikten med Azerbaijan hindrer de traditionelle leverancer af olie og gas fra dette land. Derfor genstartede man kernekraftenheden Metsamor-2, en VVER-440/230-enhed, der ellers var blevet lukket ned p.g.a. enhedens utilstrækkelige seismiske modstandsdygtighed i et område med hyppige jordskælv. I 2002 leverede Metsamor-2 40 % af Armeniens elforbrug. Metsamor-2 kørte uregelmæssigt i første halvdel af 2003 p.g.a. mangel på brændselelementer. Årsagen var, at det russiske selskab TVEL, som har været den hidtidige brændselsleverandør, ikke ville levere mere nyt brændsel, fordi Armenien skyldte 40 mio. USD for tidligere leverancer. Armenien fik løst problemet ved, at det russiske netselskab RAO ESS har overtaget en del af aktierne i Metsamor-værket. RAO skal fremover stå for den økonomiske ledelse af værket. Til gengæld har RAO betalt en del af gælden til TVEL og sørget for levering af nyt brændsel. Armenien, der hører til Ruslands "nære udland", er meget afhængig af Rusland, der dækker ca. 80 % af Armeniens samlede brændselsforbrug.

EU ønsker af sikkerhedsmæssige grunde Metsamor-værket lukket og tilbyder at yde tilskud såvel til ny el-produktionskapacitet som til dekommissionering af værket. Armenien ønsker at fortsætte driften frem til 2016, mens man fra russisk side har hævdet, at enheden kan fortsætte driften til 2031.

### *Bulgarien*

EU's krav om lukning af de fire ældste Kozloduy-reaktorer, der alle er russiske VVER-440/230-enheder, fordi sikkerheden efter EU's opfattelse ikke kan opgraderes tilstrækkeligt, har givet anledning til betydelig politisk debat i Bulgarien. To af enhederne, Kozloduy-1 og -2, blev lukket ved udgangen af 2003, og der er indgået kontrakt med BNFL og EdF om deres dekommissionering. Men regeringens løfte til EU om lukning af Kozloduy-3 og -4 i 2006 er blevet underkendt af Bulgariens administra-

tive højesteret, som ikke fandt regeringens løfte tilstrækkelig velbegrundet. Endvidere strider løftet mod en beslutning i det bulgarske parlament. De bulgarske reaktorsikkerhedsmyndigheder har i 2003 givet de to enheder driftstilladelse i yderligere 8 og 10 år, d.v.s. langt ud over 2006. De to enheder er blevet undersøgt af IAEA, som har konkluderet, at deres sikkerhed efter omfattende opgradering er på højde med andre europæiske enheder med samme alder. EU sendte i november efter bulgarsk anmodning en ekspertgruppe til Bulgarien, men en vurdering af, om det er forsvarligt at fortsætte driften af Kozloduy-3 og -4 efter 2006, er ikke inkluderet i gruppens mandat.

Det overvejes at genoptage bygningen af de to VVER-1000-enheder ved Belene. Bygningen blev indledt i midten af 1980'erne, men indstillet omkring 1990.

### *Litauen*

De første EBRD-finansierede projekter til forberedelse af dekommissioneringen af Ignalinaværket er blevet udbudt. Det drejer sig bl.a. om et lager til midlertidig (50 års) opbevaring af udbrændt brændsel (18.000 elementer) og et anlæg til behandling og lagring af fast radioaktivt affald. Ignalina-1 lukkes endeligt ved udgangen af 2004 og Ignalina-2 i 2009.

Litauen overvejer med fransk, teknisk assistance at bygge et nyt kernekraftværk.

### *Rumænien*

Finansieringen af færdiggørelsen af Cernavoda-2, en 710 MWe Candu-6-enhed, er klar, og der er indgået en kontrakt herom med AECL og Ansaldo på ca. 700 mio. USD. Enheden, hvoraf 45 % er bygget, planlægges i drift i 2007. Rumænien og Sydkorea har indgået aftale om en undersøgelse af en mulig færdiggørelse af Cernavoda-3. I Rumænien undersøges tillige mulighederne for finansiering af et sådant projekt.

Der er ved Cernavoda-værket indviet et luftkølet lager til tør opbevaring af udbrændt brændsel i 50 år. Rumænien, der har egen tungtvandsproduktion, har eksporteret 20 tons tungt vand til Kina.

### *Rusland*

Som i andre lande er man også i Rusland i færd med at modernisere og levetidsforlænge sine kernekraftenheder. Det gælder f.eks. Leningrad-1 og Kola-1.

Rosenergoatom, det russiske nukleare el-selskab, planlægger at færdiggøre op til 10 kernekraftenheder i de kommende år, bl.a. Kalinin-3 (VVER-1000) og Kursk-5 (RBMK). Ved Sydural-værket planlægges tre til fire VVER-1000-enheder i stedet for de oprindelige tre BN-800 hurtigreaktorer. Men man har problemer med at skaffe den nødvendige kapital til de store investeringer, idet den russiske regering ikke vil acceptere en forøgelse af el-prisen til finansiering af de nye enheder. Der har været forhandlet med EU om lån til bygning af russiske kernekraftenheder, men EU forlanger, at bygningen af Kursk-5 (en RBMK-enhed), der er 60 % færdigbygget, opgives, hvilket Rosenergoatom ikke kan acceptere. Rosenergoatom planlægges omdannet til et statsligt aktieselskab på samme måde som det russiske nukleare brændselsselskab TVEL. Det har været overvejet, men det er – i hvert fald indtil videre – opgivet at privatisere Rosenergoatom.

Det store, russiske maskinfirma United Engineering Plants (OMZ), der kontrolleres af den georgiske forretningsmand Kakha Bendukidze, har sikret sig kontrollen med Atomstoyexport (ASE), som har monopol på den russiske, nukleare eksport. OMZ er dog villig til at sælge sine aktier i ASE til en statsorganisation eller andre.

Rusland er blevet inviteret til at blive medlem af G7 landenes arbejdsgruppe om nuklear sikkerhed (NSWG), men ønsker ikke at deltage, fordi man i vesten er negativt indstillet over for RBMK-typen. Fra russisk side mener man, at typen er sikker, efter

at dampkoefficienten er gjort negativ ved forøget berigning af brændslet. Fra vestlig side påpeges det, at typen ikke er forsynet med en tilfredsstillende reaktorindeslutning.

Der er indgået kontrakt om færdiggørelse af den nukleare isbryder "60 års sejr" (tidligere kaldet "50 års sejr"). Isbryderen er 70 % færdigbygget, men er ikke hidtil færdiggjort p.g.a. kapitalmangel.

Efter fire års forhandlinger er der blevet enighed mellem Rusland og en række vestlige lande om reglerne for vestlig støtte til oprensning af nukleare anlæg i Nordvestrusland, det såkaldte Multilateral Nuclear Environmental Program (MNEPR). I 2002 gennemførte Rosenergoatom 152 nukleare miljøprojekter til 164 mio. USD, der blev støttet af vestlige lande. USA og Rusland har indgået aftale om lukning af de sidste tre russiske plutonium-produktionsreaktorer inden udgangen af 2006. Til gengæld vil USA finansiere bygning af erstatningsværker med fossilt brændsel med 466 mio. USD.

Rusland er i fuld gang med at færdiggøre Bushehr-1 i Iran. Enheden skal gå i kommerciel drift sidst i 2005. Det er krævet af Rusland og accepteret af Iran, at det brugte brændsel returneres til Rusland. Værket er under IAEA-kontrol. Rusland forhandler med Iran om færdiggørelse af Bushehr-2, som Siemens startede opførelsen af. Rusland foreslår dog, at man bygger en ny VVER-1000-enhed i stedet for at færdiggøre Bushehr-2. Dette vil være betydelig billigere.

Rusland har indgået kontrakter på i alt ca. 1 mia. USD om levering af udstyr til Kudankulam-værket i Indien, som skal omfatte to russiske VVER-1000-enheder, og som skal være i drift i 2007 og 2008. Rusland har også indgået kontrakt om levering af brændsel til værket frem til 2010. Aftalen indebærer ikke, at det udbrændte brændsel skal returneres. Rusland håber at få kontrakt på at levere yderligere to VVER-1000-enheder til værket, men det er et spørgsmål, om en sådan leverance kan godkendes af den internationale Nuclear Suppliers Group, såfremt Indien ikke vil åbne alle sine nukleare anlæg for IAEA-inspektion. Når Rusland har kunnet levere de to første enheder, skyldes det, at kravet om fuld inspektion blev indført efter, at Rusland og Indien havde indledt forhandlinger om de to første enheder til Kudankulam-værket.

Også i Kina bygger Rusland to VVER-1000-enheder ved Tianwan. De skal være færdige i 2004 og 2005. Derudover forhandles om opførelse af yderligere to enheder ved værket.

Rusland forhandler med Syrien om levering af et kernekraftværk med tilhørende afsaltningsanlæg.

Den russiske nukleare eksport forventes at stige fra 2,6 mia. USD i 2002 til 3,0 mia. USD i 2003. Eksporten er primært knyttet til brændselskredsløbsydelse (uran, berigning, oparbejdning). Rusland forsyner 20 % af verdens kernekraftenheder med brændsel.

Der forhandles med Kina om deltagelse i udviklingen af en 1500 MW PWR enhed. Rusland har indgået aftale med Sydkorea om udvikling af små og mellemstore kernekraftenheder, herunder flydende enheder og afsaltningsanlæg.

Rusland har taget initiativet til et internationalt program, INPRO, om udvikling af nye reaktortyper inden for rammerne af IAEA. Rusland planlægger at investere i bygningen af en bly-kølet hurtig reaktor ved Beloyarsk (Beloyarsk-4). Der arbejdes også med at designe en stor reaktor af samme type, BREST-1200. Rusland arbejder med bygning af flydende kernekraftenheder med en effekt på 70 MWe. Den første enhed ventes bygget på skibsværftet SevMash i Severodvinsk nær Arkhangelsk og vil blive anbragt ved Severodvinsk. Der forhandles om kinesisk deltagelse i arbejdet.

Det forventes, at de ca. 100 dekommissionerede nukleare ubåde vil være ophuggede om 10 år. Den samlede omkostning anslås til ca. 4 mia. USD. Man har opgivet at ind-

rette et deponi for radioaktivt affald i permafrostområder på ishavssøen Novaya Zemlya, idet den globale opvarmning kan medføre, at permafrostområderne forsvinder.

### *Slovakiet*

Det statslige slovakiske el-selskab, Slovenské Elektrárne (SE), planlægger en delvis privatisering ved at udbyde 49 % af selskabets aktier til salg i 2004.

Slovakiet har lovet EU at lukke de to Bohunice-V1 enheder i 2006 og 2008. En undersøgelse har vist, at det vil være rentabelt at færdiggøre Mohovce-3 og -4 enhederne.

### *Slovenien*

Slovenien har ratificeret aftalen med Kroatien om det fællesejede Krško-værk, der er forsynet med en Westinghouse trykvandsreaktor. Aftalen omfatter en klarlæggelse af Krško's legale status, et fælles dekommissioneringsprogram samt behandlingen af det radioaktive affald.

### *Tjekkiet*

Det tjekkiske el-selskab CEZ, hvor staten ejer 2/3 af aktierne, er næststørste eksportør af el i Europa efter EdF. CEZ prøver at købe sig ind i det slovakiske el-selskab SE for herigennem at blive et stort centraleuropæisk el-selskab.

Temelin-1-enheden er kommet i kommerciel drift, og Temelin-2 har indledt en 18 måneders prøvedriftsperiode, hvorefter enheden går over til kommerciel drift. Temelin-værket er udlagt til at kunne rumme fire enheder, og CEZ overvejer at bygge de resterende to enheder. Dette har medført protester fra østrigsk side.

### *Ukraine*

Kievs økonomiske domstol satte i september ledelsen af det ukrainske, statslige el-selskab, Energoatom, under administration, således at ledelsen ikke uden tilladelse kan foretage større økonomiske dispositioner. Baggrunden for kendelsen er et samlet krav på 25 mio. USD fra syv kreditorer, som ønsker selskabet erklæret konkurs, såfremt Energoatom ikke betaler dem. Selskabet erkender, at det har en gæld på 900 mio. USD, men andre skylder Energoatom 1634 mio. USD. Specielt skylder det statslige elforsyningsselskab EnergoRynok 1380 mio. USD. Hvis Energoatom erklæres konkurs, kan selskabet ikke købe brændsel, vedligeholde sine enheder eller færdiggøre de nye enheder, der er under bygning. Energoatom har appelleret kendelsen.

Der har været rejst kritik af Energoatoms og de enkelte værkers ledelse for ukorrekt regnskabsførelse. Om grunden til disse ukorrektheder er værkerne vanskelige økonomiske situation, kriminelle handlinger eller begge dele er ikke klart. Ledelsen afviser kritikken.

Energoatom har haft problemer med at få en tredjepartsforsikring for sine værker, idet de ukrainske forsikringsselskaber ikke har tilstrækkelig kapital til at kunne tilbyde en sådan. Dette problem skulle nu være løst.

Også i Ukraine arbejder man med levetidsforlængelse af de eksisterende kernekraftenheder. Det er en langt billigere løsning end at bygge nye enheder. Man søger også at etablere en dekommissioneringsfond til at finansiere dekommissioneringen af de eksisterende enheder. Der er ligeledes planer om fremstilling af reaktorbrændsel i Ukraine, så man ikke længere behøver at indkøbe dette fra Rusland. Men p.g.a. de vanskelige økonomiske forhold går det langsomt med begge disse projekter.

Færdiggørelsen af Khmel'nitski-2 og Rovno-4 estimeres af Energoatom at koste 0,9 mia. USD, mens EBRD mener, at prisen er 1,4 mia. USD. Årsagen til forskellen er, at EBRD efter ukrainsk opfattelse stiller for store krav til sikkerhedsforbedringer. Energoatom planlægger om nødvendigt at finansiere byggeriet uden hjælp fra EBRD gen-

nem højere elpriser og lån fra ukrainske banker. Udstedelse af obligationer planlægges også. Rusland har givet tilsagn om et lån på 44 mio. USD. Man forhandler dog fortsat med EBRD om et lån. Et problem er, at Ukraines elektricitetskommission, der skal godkende el-prisen, har nægtet at gå med til en prisstigning på knap 6 % til færdiggørelse af de to enheder. Kreditorkravet om, at Energoatom skal erklæres konkurs, vanskeliggør også finansieringen af de to enheders færdiggørelse. Begge enheder planlægges færdige i 2004, Khmel'nitski-2 først, Rovno-4 få måneder senere. De er i dag omkring 85 % færdige. Der er indgået kontrakt med det russiske brændselsselskab TVEL om levering af brændsel til de to reaktorer.

Ved Tjernobyl-værket er alt brændsel fjernet fra Tjernobyl-2, halvdelen er fjernet fra Tjernobyl-1 og udtagning af brændsel er påbegyndt fra Tjernobyl-3. Efter udtagningen af brændslet bliver det opbevaret under vand i et bassin. Brændslet vil senere blive overført til et lager til langtidsopbevaring af udbrændt brændsel, som er under opførelse. En international ekspertgruppe er ved at afslutte designet af den nye reaktorindeslutningsbygning for Tjernobyl-4, der vil få form af en stålskal. Den skal bygges ved siden af den forulykkede reaktor og derefter køres hen over den gamle indeslutning. Byggeriet ventes at tage 6-7 år og koste 400 mio. USD. Den nye indeslutning skal kunne holde i 100 år og skal sikre, at der ikke slipper radioaktive materialer ud, såfremt den gamle utætte indeslutning skulle falde sammen. Der er udvalgt to konsortier til at give tilbud på den nye indeslutning.

Energoatom har bedt om tilbud på en facilitet til lagring af brugt brændsel. Hidtil er brugt brændsel sendt til Krasnoyarsk i Rusland, men denne løsning er for dyr. Det er tanken at bygge sådanne lagre ved Khmel'nitski-, Rovno- og Sydukraineværkerne.

### *Ungarn*

Paks-2-reaktoren var i april 2003 udsat for et uheld, der medførte beskadigelse af 30 af enhedens brændselelementer og en begrænset frigivelse af radioaktivt materiale. Hændelsen er nærmere beskrevet i afsnit 3.1.

Paks-2 ventes ikke at komme i drift igen før i sommeren 2004. Fordelingen af det økonomiske ansvar for uheldet er endnu ikke afgjort. Nedlukningen af Paks-2 koster 225.000 USD pr. dag.

Paks-værket, der består af fire VVER-440/213 enheder, overvejer at søge om en forlængelse af enhedernes levetid med 20 år ud over de oprindeligt godkendte 30 år samtidig med, at værket vil blive moderniseret for 500 mio. USD, og den samlede effekt forøges med 150 MWe. En undersøgelse har vist, at der ikke er tekniske og sikkerhedsmæssige begrænsninger for en levetid på 50 år. På grund af uheldet med de 30 brændselelementer er ansøgningen om levetidsforlængelse indtil videre blevet stillet i bero.

## **Nordamerika**

### *Canada*

Ontario Power Generation (OPG), som ejer 20 af Canadas kernekraftenheder, har lejet de 8 Bruce-A og Bruce-B enheder ud til Bruce Power Partnership (BPP), et canadisk konsortium. De fire Bruce-B enheder er i drift, mens de fire Bruce-A enheder har været lagt op. To af disse er igen kommet i drift, Bruce-A-4 i oktober 2003 og Bruce-A-3 i december 2003.

De fire ældste enheder på OPG's Pickering-værk har været ude af drift i en række år, men har efter en række forbedringer fået tilladelse til at genoptage produktionen. Pickering-4 kom i drift i september 2003 mens de øvrige tre enheder tidligst vil komme i gang igen ved udgangen af 2006.



Point Lepreau-enheden har vist sig at være i bedre stand end tidligere antaget. Den behøver derfor ikke egentlig renovering før i 2008. En renovering med en levetidsforlængelse frem til 2032 overvejes, men der er endnu ikke truffet nogen endelig beslutning herom.

## USA

Under eftersyn af reaktoren på Davis-Besse værket (PWR) i Ohio i 2002 opdagede man, at udlækkende borsyreopløsning havde ætset et hul næsten helt igennem låget på reaktortanken. Der skete ikke noget udslip til omgivelserne. Efterforskningen tyder på, at der har været en meget mangelfuld sikkerhedskultur på værket, som der nu gøres meget for at rette op på. Udskiftningen af låget til reaktortanken er ved at være færdig. Noget tyder dog også på, at NRC's tilsyn har været utilstrækkeligt. Under eftersynet i 2000 henvendte personale fra værket sig til NRC's tilsynsførende med billeder af store rustansamlinger på reaktorlåget, uden at de tilsynsførende opfattede, at der måtte være tale om et alvorligt problem.

Den amerikanske regering har indført en mulighed for forhåndsgodkendelse (Early Site Permit, ESP) af brug af pladser til bygning af nye reaktorenheder. Entergy har i oktober 2003 indgivet en ansøgning om ESP til en mulig ny reaktor ved det eksisterende Grand Gulf kernekraftværk i staten Mississippi. Der er ikke umiddelbare planer om bygning af en ny reaktor her, men en ESP vil muliggøre en tidsbesparelse på op til 3 år, hvis man skulle beslutte det på et senere tidspunkt.

Tilsvarende undersøger NRC, om der kan gives en principgodkendelse af Westinghouse's nye AP1000-reaktordesign. Godkendelsesproceduren vil kunne være afsluttet ved udgangen af 2005. Såfremt reaktoren godkendes, vil godkendelsesproceduren kunne forkortes væsentligt, hvis denne type vælges til en given kraftværksplacering.

Det fri elmarked, som i USA er ved at afløse det tidligere system med koncessioner, har medført en reorganisering af el-sektoren. Selskaberne konsoliderer sig ved sammenlægninger, udskillelser og omorganiseringer, hvorved f.eks. produktion og distribution skilles ad, køb og salg af kraftværker og samarbejde om driften af mindre selskabers enheder. Disse konsolideringer fortsætter. Specielt frasælger elselskaber fortsat kernekraftreaktorer til selskaber, der har specialiseret sig i drift af kernekraftværker.

I 2003 har 13 kernekraftenheder fået forlænget deres driftstilladelser. I de senere år har i alt 23 enheder opnået sådanne tilladelser; 12 ansøgninger er under behandling, og der er annonceret ansøgninger for yderligere 25 enheder.

Opgradering af værkerne fortsætter. Samlet har NRC i 2003 godkendt opnormeringer af 8 enheder med i alt 400 MWe, hvoraf enkelte forudsætter tekniske forbedringer, der endnu ikke er udført. Der er p.t. 4 ansøgninger under behandling, og der forventes ansøgninger for yderligere 28 enheder.

Spørgsmålet om, hvad elværkerne skal stille op med det brugte uranbrændsel, bliver stadig mere påtrængende. I USA skal brugt brændsel deponeres i en egnet geologisk struktur. USA's senat har i 2002 vedtaget, at anlægget skal placeres i Yucca Mountain i Nevada, men anlægget er foreløbigt fire år forsinket, og bygningen er endnu ikke påbegyndt.

Under en omfattende strømafbrydelse i det nordøstlige USA og Canada 14. august 2003 blev 9 kernekraftenheder i USA og 11 enheder i Canada udkoblet, se afsnit 3.1. Flere dages manglende drift af flere enheder vil bevirke, at kapacitetsfaktoren for de amerikanske enheder for første gang i mange år vil falde i 2003.

## Asien

I Asien har Indien, Japan, Kina, Pakistan, Sydkorea og Taiwan kernekraftværker i drift. I Iran er en kernekraftenhed under bygning, og i Indonesien er der konkrete planer om at opføre landets første kernekraftværk. Japan har det største kernekraftprogram i Asien med 54 enheder i drift og en samlet effekt på 44.000 MWe. Sydkorea er med 18 reaktorer i drift og en samlet effekt på 15.000 MWe det asiatiske land, der har den største kernekraftandel i sin elproduktion (39 % i 2002).

### *Indien*

I forhold til landets størrelse har Indien kun et lille kernekraftprogram. Kernekraften tegnede sig for 4 % af elproduktionen i 2002. De idriftværende 14 kraftreaktorer har alle en forholdsvis lille enhedsstørrelse (den samlede effekt er 2500 MWe), men større enheder er under opførelse (7 enheder med en samlet effekt på 3400 MWe). De fleste enheder er af indisk design, men to af de enheder, der er under opførelse, er 1000 MWe VVER-enheder af russisk konstruktion. Indien har kernevåben, men har ikke tilsluttet sig den internationale ikke-spredningstraktat. Indien er derfor underlagt internationale restriktioner, som bl.a. indebærer, at landet ikke har adgang til det internationale uranmarked. Indiens egne uranreserver er ret begrænsede, men landet har nogle af verdens største thoriumreserver. I sit nukleare udviklingsprogram satser Indien derfor dels på formeringsreaktorer, dels på tungstvandsreaktorer, der kan anvende MOX brændsel med en kombination af plutonium-239 og thorium eller uran-233 og thorium. Der planlægges med en udbygning af kernekraften, så Indien når en installeret effekt på 20.000 MWe i 2020 med en milepæl på 8000 MWe i 2010.

### *Japan*

I Japan har 2003 været præget af bestræbelser på at rette op på de problemer med den nukleare sikkerhedskultur, der blev konstateret i 2002. Problemerne kom først for dagen hos elseskabet Tokyo Electric Power Company (Tepco), som gennem en årrække havde tilbageholdt resultater af inspektioner af revner i forskellige reaktorkomponenter. Tepco er det selskab, der har den største nukleare elproduktion i Japan. Det kom efterfølgende frem, at der var tilsvarende problemer hos andre japanske elseskaber. De forsvarede sig med, at der var tale om frivillige inspektioner, som man ikke behøvede at rapportere til de nukleare sikkerhedsmyndigheder, så længe der ikke var tale om egentlige sikkerhedsproblemer, men hele forløbet afslørede en utilfredsstillende sikkerhedskultur. Der har efterfølgende været gennemført omfattende inspektioner på en række kernekraftværker og en ny audit-enhed, Japan Nuclear Energy Safety Organisation, er blevet oprettet som supplement til den primære nukleare tilsynsmyndighed, Nuclear & Industrial Safety Agency. Ud over de 54 idriftværende kernekraftenheder er der tre enheder under opførelse i Japan. I 2003 fik Hokkaido Electric Power tilladelse til at påbegynde bygning af yderligere en enhed, Tomari-3, som bliver en PWR-enhed på 912 MWe. En yderligere udbygning med kernekraft er planlagt i Japan, men udbygningen er præget af forsinkelser på grund af et reduceret behov for elektricitet i forhold til tidligere fremskrivninger og den igangværende liberalisering af elmarkedet.

### *Kina*

I Kina har kernekraften indtil nu kun tegnet sig for en beskedent del af den samlede elproduktion (1,4 % i 2002), men der foregår en støt og rolig udbygning med kernekraft. Ved udgangen af 2002 havde Kina syv kernekraftenheder i drift med en samlet effekt på 5300 MWe. Det drejer sig om to PWR-enheder af kinesisk konstruktion, fire PWR-enheder af fransk konstruktion og én CANDU-enhed. Der er yderligere fire enheder under opførelse, en PWR-enhed af kinesisk konstruktion, en CANDU-enhed og to VVER-1000 enheder af russisk konstruktion. Kina importerer således kernekraft-

teknologi fra forskellige lande som et led i en teknologioverførsel til landets egen kernekraftindustri. Indtil for nylig har firmaer i USA været underlagt restriktioner vedrørende samarbejde med Kina, men de er nu gjort mindre restriktive. Chinese National Nuclear Corporation har annonceret planer om at invitere udenlandske selskaber, herunder det amerikanske Westinghouse, til at afgive tilbud på fire nye 1000 MWe enheder med byggestart omkring 2005. Kina har egne uranforekomster og stiler mod at beherske hele brændselskredsløbet. Forskningsprogrammet omfatter både formerings- og højtemperaturreaktorer. En eksperimentel 10 MW gaskølet højtemperaturreaktor blev igangsat i 2000 ved instituttet for nuklear energiteknologi ved Tsinghua universitet i Beijing. I 2003 har universitetet indledt et samarbejde med Massachusetts Institute of Technology, USA, om videreudvikling af højtemperaturreaktorer.

### *Syd Korea*

Syd Korea er det asiatiske land, der har den største andel af kernekraft i sin elforsyning (39 % i 2002). Landet har en veludviklet kernekraftindustri, primært baseret på teknologi overtaget fra USA. Ud over sit kraftreaktorprogram udvikler landet mindre reaktortyper til bl.a. afsaltningsanlæg. I 2003 har Syd Korea indgået aftale med det russiske kerneenergi-ministerium MINATOM om samarbejde om udvikling af små reaktorer baseret på russiske PWR designs. Det sydkoreanske forskningsinstitut KAERI havde i forvejen påbegyndt udvikling af en lille reaktor til elproduktion (op til 100 MWe) og/eller termiske anvendelser som f.eks. afsaltningsanlæg. Det drejer sig om en 330 MWt PWR, System-Integrated Modular Advanced Reactor (SMART), med integrerede dampgeneratorer. Ud over planer om anvendelse af denne reaktor i Syd Korea er også den indonesiske atomenergikommission interesseret i reaktoren.

### *Nord Korea*

Der har været megen international fokus på Nord Korea i 2003 på grund af landets manglende vilje til at efterleve ikke-spredningstraktaten vedrørende kernevåben og spørgsmålet om, hvorvidt landet allerede har kernevåben. Ifølge en aftale fra 1994 mellem Nord Korea og USA m.fl. lukkede Nord Korea sin eneste kernekraftenhed, en 5 MWe enhed med en gaskølet grafitreaktor, standsede sit kernevåbenprogram og accepterede IAEA inspektion af alle landets nukleare anlæg. Til gengæld ville Nord Korea få foræret to 1000 MWe kernekraftenheder, primært betalt af Syd Korea og Japan. Nord Korea var imidlertid tilbageholdende med at give IAEA adgang til landets nukleare anlæg og begyndte at opføre et centrifugeberigningsanlæg. Det fik USA til at indstille olieleverancer, hvorefter Nord Korea trak sig ud af ikke-spredningsaftalen og genstartede 5 MWe enheden. Det medførte igen, at opførelsen af de to kernekraftenheder, der er af sydkoreansk konstruktion og som bygges ved Kumho, blev suspenderet i 2003.

### *Iran*

I Iran er et russisk-konstrueret kernekraftværk under opførelse ved Bushehr med foreløbig en 1000 MWe enhed. Det er planen at opføre i alt seks 1000 MWe enheder i Iran inden 2020, fire ved Bushehr og to ved Akhvaz. I det forløbne år har der været en intens diskussion mellem Iran og bl.a. IAEA om Irans manglende opfyldelse af safeguard-aftalen med IAEA. Som et led i diskussionen aflagde udenrigsministrene fra Frankrig, Storbritannien og Tyskland besøg i Iran i oktober og gav tilsagn om, at Iran kunne få øget adgang til vestlig teknologi mod at fremlægge alle oplysninger om landets nukleare aktiviteter. Ifølge en IAEA rapport fra november 2003 har Iran gennem en årrække skjult sin udvikling på laboratorieskala af nøgleteknologier som uranberigning og plutoniumseparation. Iran har vedkendt sig disse aktiviteter, men sagt, at de er trivielle og ikke sigter mod udvikling af kernevåben, se afsnit 3.2.

### *Indonesien*

I Indonesien skal landets første store kernekraftværk ligge ved Murai på det nordlige Java. Valget af den første reaktorenhed står mellem en sydkoreansk PWR (1000 MWe enhed) og en canadisk CANDU-enhed (700 MWe). Det er planen at opføre de første to kernekraftenheder inden 2016. Forinden har man planer om mindre reaktorer til elproduktion og afsaltning. Der er således planer om en sydkoreansk SMART reaktor til elproduktion og afsaltning på øen Madura ved Javas nordkyst.

### **Andre lande**

Uden for Asien, Europa og Nordamerika har kun Sydafrika, Argentina og Brasilien kernekraftværker. Australien har ikke kernekraft, men har en betydelig uranindustri.

### *Sydafrika*

Sydafrika har to PWR-enheder i drift ved Koeberg med en samlet effekt på 1800 MWe. I 2002 tegnede kernekraften sig for 6 % af elproduktionen. Det statsejede kraftværksselskab Eskom er med British Nuclear Fuels plc og Industrial Development Corporation of South Africa som partnere i gang med at udvikle en gaskølet højtemperaturreaktor-enhed med kugleformede brændselselementer (pebble bed reactor). Det amerikanske firma Exelon var også partner, indtil det i 2002 meddelte, at det ville trække sig ud af projektet, når projektfasen var afsluttet i 2003. Det er planen, at bygge en demonstrationsenhed på 110 MWe ved Koeberg, og man vil formentlig efterfølgende satse på en lidt større enhed på 165 MWe for at kunne forbedre økonomien. Projektet er noget forsinket, bl.a. fordi myndighedsbehandlingen tager længere tid end oprindeligt planlagt, og man forsøger at få nye partnere med i projektet, efter at Exelon har trukket sig ud.

### *Australien*

Australien har ikke kernekraftværker, men har ligesom en række afrikanske stater (Gabon, Niger og Namibia) en betydelig produktion og eksport af uran. I 2003 valgte den australske regering efter 10 års forberedelser en lokalitet for et slutdepot for lav og mellemaktivt affald med kort halveringstid. Lokaliteten ligger i nærheden af Woomera i delstaten South Australia. Med slutdepotet opnår Australien, at det lav- og mellemaktive affald samles et sted. Hidtil har det været opbevaret midlertidigt på mere end 100 lokaliteter rundt omkring i landet.

## 2 Udvikling af reaktorer og sikkerhed

### 2.1 Reaktorudviklingen

I de senere år har reaktorproducenterne arbejdet på at få godkendt nye design af reaktorer, som er blevet udviklet siden 1980'erne. I nedenstående tabel er givet en liste over de nye design og deres status med hensyn til godkendelse af de amerikanske nukleare myndigheder.

Det internationale "Generation IV International Forum" (GIF) har opstillet et program for udvikling af nye reaktortyper. Det drejer sig om reaktorer, som forventes at blive bygget efter 2020, og som bryder radikalt med de kendte reaktortyper.

Reaktor design	Leverandør	Reaktortype	Status hos NRC
System 80+	Westinghouse BNFL	PWR	Godkendt
ABWR	GE, Toshiba, Hitachi	BWR	Godkendt
AP600	Westinghouse BNFL	PWR	Godkendt
AP1000	Westinghouse BNFL	PWR	Godkendt
ESBWR	GE	BWR	Under behandling
SWR-1000	Framatome ANP	BWR	Under behandling
ACR-700	AECL	PHWR	Under behandling
PBMR	Eskom	HTGR	Under behandling
GT-MHR	General Atomic	HTGR	Under behandling
IRIS	Westinghouse BNFL	PWR	Under behandling
EPR	Framatome ANP	PWR	Ingen ansøgning
ACR-1000	AECL	PHWR	Ingen ansøgning

*System 80+* er en avanceret trykvandsreaktor, som har fået yderligere sikkerhedssystemer indbygget. Ved designet er der taget specielt hensyn til at reaktoren skal kunne anvende plutoniumbrændsel, hvorved den kan benyttes til forbrænding af plutonium fra demonterede kernevåben.

[www.nuc.berkeley.edu/designs/sys80/sys80.html](http://www.nuc.berkeley.edu/designs/sys80/sys80.html).

*ABWR*, Advanced Boiling Water Reactor, er en avanceret kogendevandsreaktor, som bl.a. er bygget i Taiwan. Reaktoren er forsynet med flere passive sikkerhedssystemer. Bl.a. har reaktoren et system med fjederbelastede ventiler, som vil kunne aflaste et overtryk i reaktorindeslutningen, der truer med at sprænge denne. Desuden er der implementeret et system, som automatisk oversvømmer området under reaktortanken i tilfælde af en kernenedsmeltning, hvorved hovedparten af de frigivne fissionsprodukter tilbageholdes i vandet.

[www.nuc.berkeley.edu/designs/abwr/abwr.html](http://www.nuc.berkeley.edu/designs/abwr/abwr.html)

*AP600*, Advanced Pressurized 600 MWe enhed. Reaktoren er karakteriseret ved at have innovative passive sikkerhedssystemer baseret på et simplere design end tidligere set. Der er ikke bygget nogen enhed af denne type, måske p.g.a. den begrænsede størrelse, som gør den relativt dyr.

[www.ap600.westinghouse.com](http://www.ap600.westinghouse.com)

*AP1000*, Advanced Pressurized 1000 MWe enhed, som er en større udgave af AP600 med samme sikkerhedsmæssige egenskaber, men uden at være væsentlig dyrere i anlægsudgifter. Enheden kan opgraderes til 1200 MWe og er Westinghouse's flagskib, AP1000 var oprindeligt indbudt til at byde på Finlands femte kernekraftenhed. Westinghouse valgte imidlertid ikke at byde på enheden, da AP1000 kun ville være økonomisk attraktiv, hvis der skulle bygges mindst to enheder på samme plads, hvilket ikke er tilfældet i Finland.

[www.ap1000.westinghouse.com](http://www.ap1000.westinghouse.com)

*ESBWR*, Evolutionary Simplified Boiling Water Reactor, er en yderligere udvikling af ABWR med flere passive og simple sikkerhedssystemer, som bl.a. er med til at reducere anlægsomkostningerne i forhold til ABWR. Reaktoren er på 1400 MWe. GE forventer, at kunne levere typen inden for de næste 2 år. ESBWR var med i tilbudsgivningen på den femte finske kernekraftenhed, men blev ikke valgt.

[www.nrc.gov/reactors/new-licensing/license-reviews/design-cert/esbwr.html](http://www.nrc.gov/reactors/new-licensing/license-reviews/design-cert/esbwr.html)

*SWR-1000*, SiedeWasser Reaktor, er en kogendevandsreaktor på 1250 MWe designet af Framatome ANP. Reaktoren er forsynet med passive sikkerhedssystemer. Bl.a. er reaktorindeslutningen forsynet med et passivt kølesystem, ligesom aktivering af sikkerhedssystemer foregår ved passive tryktransducere. Typen var med i kapløbet om den femte finske kernekraftenhed.

<http://www.de.framatome-anp.com/anp/d/foa/anp/products/epr/vwp.htm>

*ACR-700*, Advanced CANDU Reactor, er en avanceret udgave af CANDU reaktoren på 700 MWe. Reaktoren anvender 2 % beriget uran i modsætning til den normale CANDU, som anvender naturligt uran. Reaktoren er tungtvandsmodereret, men letvandskølet i modsætning til den ældre udgave, som også anvendte tungt vand til køling. AECL, Atomic Energy of Canada Ltd, har gennemført en intens markedsføring af den nye reaktor med lave anlægspriser, korte konstruktionstider og gode finansieringsmuligheder. Den første ACR-700 afventer fortsat at blive bygget.

[www.aecl.ca/index.asp](http://www.aecl.ca/index.asp)

*PBMR*, Pebble-Bed Modular Reactor, er en højtemperatur, gaskølet reaktor, hvor hvert modul er på 165 MWe. Kølemidlet er helium, moderatoren grafit og brændslet små grafit-coatede 4-6 % berigede urankugler, som er indeholdt i en større sfærisk grafitmatrix. Designet tog oprindeligt sigte på, at et anlæg skulle bestå af 8 moduler med en samlet kapacitet på 1320 MWe. Endvidere indgår i designet siloer til at opbevare brugt brændsel svarende til 10 års drift. Med sin begrænsede størrelse er et enkelt modul attraktivt i økonomisk henseende, idet anlægsudgifterne er mindre og dermed den økonomiske risiko begrænset.

[www.pbmr.com](http://www.pbmr.com)

*GT-MHR*, Gas-turbine Modular Helium Reactor, er også en højtemperatur, gaskølet reaktor, designet af General Atomic i USA. Oprindeligt skulle anlægget forsynes med en gasturbine til produktion af strøm. Det er man senere gået bort fra p.g.a. tekniske vanskeligheder. Nu indeholder designet alene en helium/vand-damp-varmeveksler. Den høje heliumtemperatur gør reaktoren velegnet til produktion af brint ved termokemiske metoder.

[www.ga.com/gtmhr](http://www.ga.com/gtmhr)

*IRIS*, International Reactor Innovative & Secure, er Westinghouse BNFL's bud på et simplificeret og innovativt PWR-design. Reaktoren er konstrueret med et integralt design, d.v.s. dampgenerator, trykholder og pumper er alle anbragt inde i tryktanken. IRIS-konceptet er specielt designet med henblik på at undgå tab-af-kølemiddel uheld, ligesom størrelsen er mindre end normale PWR-enheder, nemlig 100-300 MWe. Der er dog mulighed for at placere flere moduler på samme plads. Den forventes at være færdigudviklet omkring 2010.

[www.nei.org/doc.asp?docid=771](http://www.nei.org/doc.asp?docid=771)

*EPR*, European Pressurized Reactor, er Framatome ANP's trykvandsreaktordesign, der blev udviklet i 1990'erne. Reaktoren er bl.a. forsynet med dobbelt reaktorindeslutning, ligesom der på mange andre områder er lagt vægt på at forbedre sikkerheden. Et anlæg på 1600 MWe er netop blevet valgt til Finlands femte kernekraftenhed. Frankrig overvejer også at bygge en EPR-enhed for at fremme markedsføringen af EPR.

<http://www.us.framatome-anp.com/home.htm>

*ACR-1000*, Advanced CANDU Reactor, er en større udgave af ACR-700. AECL lover en byggetid på bare 3 år, ligesom prisen kun er ca. 1200 USD pr. kW installeret effekt. Hvis løfterne kan realiseres, sætter det en ny standard for kernekraftenheders byggetid og pris.

[www.aecl.ca/index.asp](http://www.aecl.ca/index.asp)

Ud over de ovennævnte reaktortyper er en række mindre kernekraftenheder under udvikling. Eksempler på disse er:

*SMART*, System-Integrated Modular Advanced Reactor, en 100 MWe trykvandsenhed, der er under udvikling i Sydkorea. Den tænkes benyttet til elproduktion og afsaltning af vand.

*KLT-40S*, en trykvandsreaktor med en elproduktion på op til 35 MW og en varmeproduktion på op til 90 MW. Reaktoren er designet til brug i flydende kernekraftværker ved Ruslands arktiske nordkyst og i Fjernøsten. Reaktoren kan også benyttes til afsaltning af vand i ørkenområder. Den første enhed med to KLT-40S reaktorer er under bygning i Severodvinsk, Rusland.

## Generation IV

Generation IV programmet blev startet af Department of Energy (DOE) i USA, men blev hurtigt udvidet til et internationalt samarbejde gennem dannelse af Generation IV International Forum (GIF) med deltagelse af 10 lande. Deltagerne i samarbejdet er enige om, at kernekraften er vigtig for at sikre en fremtidig stabil energiforsyning uden CO<sub>2</sub>-udslip. Programmet har følgende målsætninger:

- Enhederne skal være økonomisk konkurrencedygtige
- De skal have øget sikkerhed
- Deres produktion af radioaktivt affald skal være mindst mulig
- Risikoen for spredning af fissilt materiale skal være minimal
- Anlæggene skal være i drift fra 2030 og frem til 2100

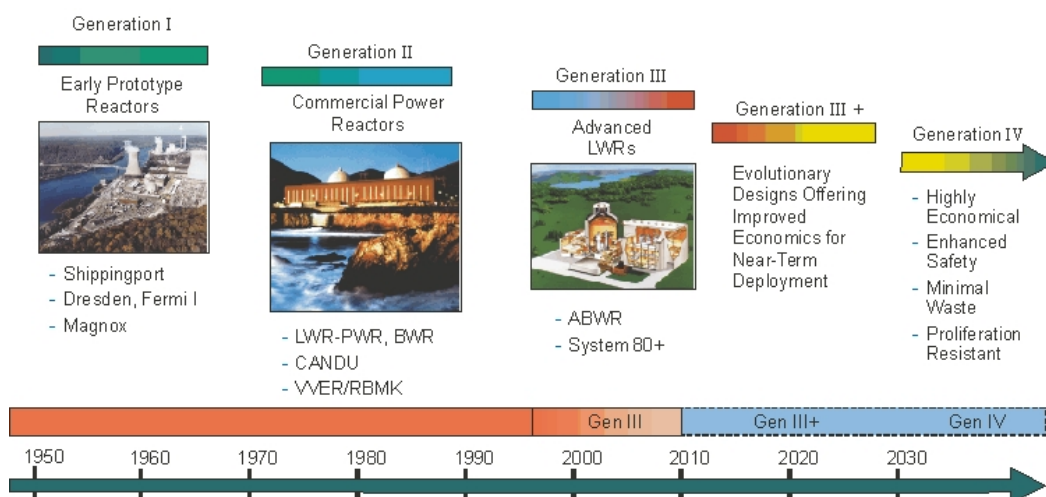
Man er blevet enige om videre studier af følgende seks reaktortyper:

1. GFR, Gas-cooled Fast Reactor, en gaskølet hurtigreaktor
2. LFR, Lead-cooled Fast Reactor, en blykølet hurtigreaktor
3. MSR, Molten Salt Reactor, en reaktor med et flydende salt som brændsel og kølemiddel
4. SFR, Sodium-cooled Fast Reactor, en natriumkølet hurtigreaktor
5. SCWR, SuperCritical-Water-cooled Reactor, en superkritisk vandkølet reaktor
6. VHTR, Very High Temperature Reactor, en reaktor med meget høj driftstemperatur (1000 °C)

Ovenstående reaktortyper afviger meget fra dagens reaktorer. Man satser på at udvikle reaktorer med højere driftstemperaturer og derfor højere virkningsgrad og mindsket affaldsproduktion. Man satser også på nye typer brændsel med højere varmekapacitet og mulighed for naturlig cirkulation i nedlukket tilstand. Bly og natrium kan absorbere mere restvarme i tilfælde af et uheld end vandkølede reaktorer. Produktion af brint kan være attraktivt ved de høje driftstemperaturer.

Figur 2.1 viser udviklingen af kraftreaktorer fra generation I i 1950-1965, generation II i 1970-1995, generation III i 1995-2010 frem til generation IV, der starter i 2030.

[www.nuclear.gov/reports/Gen-IV\\_Implementation\\_Plan\\_9-9-03.pdf](http://www.nuclear.gov/reports/Gen-IV_Implementation_Plan_9-9-03.pdf)



Figur 2.1. Udviklingen af reaktorer, kilde: *A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems*, NERAC.

## 2.2 Udvikling af beredskabssystemer

Der eksisterer adskillige nationale beredskabssystemer i Europa. To systemer udmærker sig ved en større udbredelse. Det drejer sig om det af EU udviklede RODOS-system og det dansk udviklede ARGOS-system. De er begge beslutningsstøttesystemer, som er i stand til at give forslag til beslutninger vedrørende beredskabsforanstaltninger på basis af viden om ulykkestyper, online vejrdato m.m.

### *Beredskabssystemet ARGOS*

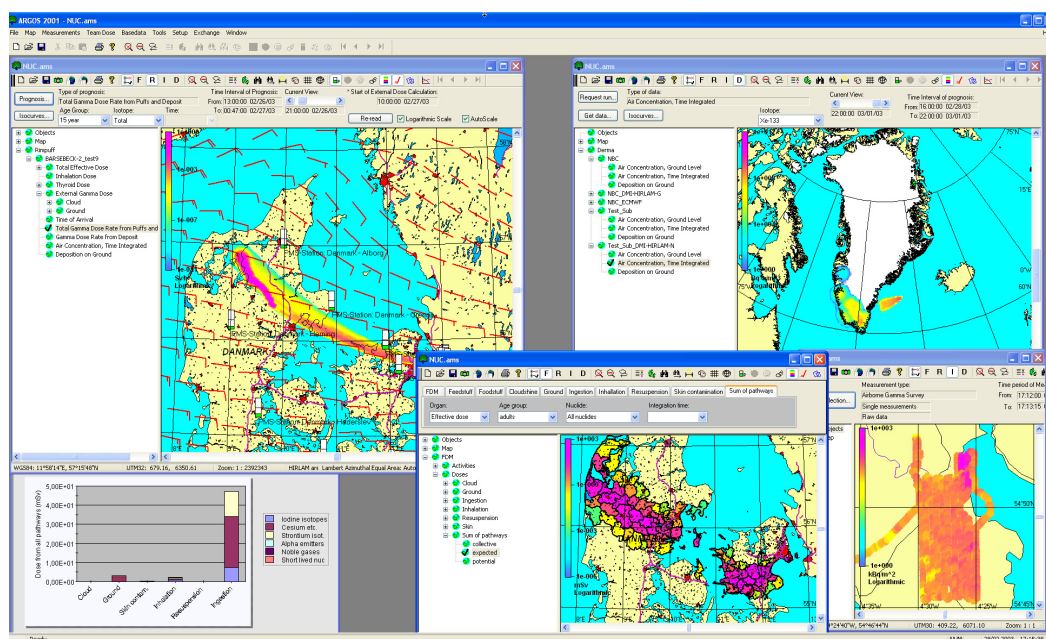
ARGOS, der er en forkortelse for “Accident Reporting and Guiding Operational System”, er et beslutningsstøttesystem, der er i stand til grafisk at vise omfanget af en forureningssituation, enten på basis af aktuelle målinger til lands og fra luften eller i form af en prognose baseret på online meteorologiske data fra Danmarks Meteorologiske Institut (DMI) samt et antaget udslip fra et kernekraftværk. Programmet beregner



dosis til mennesker fra forskellige isotoper og fra forskellige strålingskilder, som inkluderer ekstern stråling, fødeindtag og indånding (intern stråling). Der kan tages hensyn til dosisreduktion ved at ”gå inden døre”. Den seneste opdatering består i et såkaldt fødevaremodul, som beregner doser til mennesker fra indtag af kontaminerede fødevarer, med udgangspunkt i den radioaktive forurening af landbrugsarealer. Vejrdata, som f.eks. vindfelter og vejrradardata, kan vises direkte på de indbyggede digitale kort. Der findes installationer af ARGOS i Danmark, Polen, de baltiske lande, Irland, Canada, Norge og Sverige. Nye organisationer kan melde sig ind i det allerede eksisterende konsortium, som også tager sig af de andre danskudviklede beredskabssystemer, NucInfo (se nedenfor) og NucSpec (program til analyse af målinger).

### *Beredskabssystemet RODOS*

RODOS er en EU-pendant til det danske ARGOS system. RODOS er en forkortelse for ”Realtime Online DecisiOn Support System for Nuclear Emergency Management”. Begge systemer er computerbaserede beslutningsstøttesystemer, der ud fra online vejr-, reaktor- og måledata kan lave såvel næsten realtids beregninger som prognoser for radioaktiv forurening og via et fødevaremodul udregne konsekvenser af fødevarerestriktioner. RODOS er imidlertid et langt større og mere omfattende program end ARGOS. Ambitionen i RODOS er at kunne fremsætte forslag til beslutninger vedrørende alle typer beredskabsforanstaltninger i såvel tidlige som sene faser af en ulykke. Udviklingen af RODOS involverer mange parter, som skal samarbejde, og udviklingen foregår derfor ikke så hurtigt og fleksibelt som for ARGOS’ vedkommende. Der er indgået en samarbejdsaftale mellem EU’s RODOS system og det danske ARGOS system.



Figur 2.2. Prognoser for radioaktivt nedfald, bl.a. fra et hypotetisk udslip fra Barsebäck-værket, beregnet ved hjælp af ARGOS-systemet

### *Den seneste udvikling af ARGOS-systemet*

Ud over det tidligere nævnte fødevaremodul arbejdes der frem mod at kunne integrere såvel en modforanstaltningsmodel som en model til bestemmelse af strålingsdoser i byområder i ARGOS. Dette vil ske i tæt samarbejde med RODOS, der vil kunne tilbyde de samme funktioner. Den eksisterende spredningsmodel kan ikke tage hensyn

til lokale spredningsveje i byområder, hvor husene giver anledning til meget komplekse og overraskende spredningsmønstre.

ARGOS inkluderer en model for spredning af radioaktiv forurening over korte afstande, ud til få hundrede kilometer. Som noget nyt er der i ARGOS også mulighed for at præsentere resultatet af beregning af langdistancespredning, gennemført af DMI.

Fødevarermodul er nu en operativ del af ARGOS. Det tager hensyn til både våd- og tørdeponering af radioaktivt nedfald. Den atmosfæriske spredningsmodel giver basis for at estimere regnmængden i forbindelse med våddeponering.

### *Det nukleare måleberedskab*

Efter terrorangrebene den 11. september 2001 i New York og Washington D.C. er der foretaget en betydelig opgradering af det danske nukleare måleberedskab. Dette er sket som et led i regeringens ”terrorpakke”. Det landsdækkende system med 11 avancerede målestationer er nu blevet computer-baseret i stedet for som tidligere mikroprocessorstyret. Stationerne, der foretager målinger hvert tiende minut, kan nu selv kalde op til de centrale computere i Beredskabsstyrelsen og på Risø, når forhøjede niveauer af radioaktivitet måles. Der foretages spektralanalyse, således at naturlige udsving som følge af radonvariationer kan elimineres. For at blive i stand til at detektere endnu mindre variationer stammende fra menneskelig aktivitet er der opstillet to filtermålestationer – én på Bornholm og én i Haderslev.

Beredskabsstyrelsen ejer og opererer to luftbårne gammaspektrometer-systemer og to bilbårne systemer af samme type. De luftbårne detektorer består af store natriumiodidkrystaller på i alt 16 liter, hvilket giver en ret god følsomhed. Systemerne kan hurtigt monteres i hærens Fennec helikoptere. De bilbårne systemer kan nøjes med en 4 liters krystal, men kan alligevel detektere ret svage kilder ved forbipassage. Systemerne er monteret i Beredskabsstyrelsen to målebiler, der er af typen Land Rover Discovery (Figur 2.3).



*Figur 2.3. En af hærens Fennec-helikoptere og en af Beredskabsstyrelsens målevogne, som benyttes til måling af landforurening.*

De to målebiler er også indkøbt som et led i terrorpakken. Den ene målebil er ud over det nævnte målesystem udstyret med en neutrontektor på taget. Herudover er målebilerne udstyret med håndbårne spektralmålere og neutrontektorer. De kørende målelaboratorier er således meget alsidige og kan bruges såvel i atomberedskabet til opmåling af forurenede områder i by eller i det åbne land som i det radiologiske beredskab til at spore forsvundne radioaktive kilder. Kombinationen af gamma- og neutrontektorer er også velegnet til grænsekontrol, hvorved smugling af f.eks. plutonium kan afsløres.

### *Beredskabssystemet NucInfo*

Systemet, der er et web-baseret system, er primært udviklet til brug i atomberedskabet, men er også brugbart i andre typer af beredskab. Det understøtter to spørge/svar-

centraler – én i Beredskabsstyrelsen i Birkerød og én i Beredskabsstyrelsens skole i Tinglev. Ud over brugerflader for centralerne indeholder systemet en række funktioner, der kan anvendes af både eksperter og andre grupper i den centrale beredskabsledelse i en beredskabssituation. Men også i hverdagen kan systemet bruges til f.eks. information om nukleare installationer samt visning af måledata fra de 11 målestationer i Danmark.

### **EU-initiativer**

Ud over de EURATOM-aktiviteter, der omtales i appendiks B, har EU et nukleart forskningsprogram, som bl.a. omfatter beredskabsforhold.

I EU's femte rammeprogram, som er ved at være afsluttet, har der været en række projekter rettet mod beredskab, bl.a. er de ovenfor omtalte beslutningsstøttesystemer blevet videreudviklet. Projekter med dansk deltagelse har bl.a. omfattet udvikling af modeller til støtte for modforanstaltninger inden for landbruget og i byområder, sammenligning og kvalitetsvurdering af spredningsmodeller, udveksling af måledata samt samarbejde om opmåling fra luften af radioaktiv forurening af landområder.

I EU's sjette rammeprogram er der i 2004 igangsat et stort integreret projekt med dansk deltagelse i delprojekter vedr. modforholdsregler i landbruget og i byområder samt målestrategier efter radioaktiv forurening.

### **IAEA-initiativer**

Det internationale energiagentur IAEA har som noget nyt introduceret en "Early Notification and Assistance Conventions Web site". Tidligere foregik notifikation og efterfølgende, løbende information udelukkende via fax, men med det nye tiltag kan man langt lettere følge med i informationsstrømmen via den beskyttede IAEA-hjemmeside og har mulighed for at sende information til IAEA om beredskabssituationen i sit eget land.

### **NKS-initiativer**

Nordisk Kernesikkerhedsforskning (NKS) er et samarbejdsorgan for emneområderne kernesikkerhed, strålingsbeskyttelse og beredskab. NKS's målsætning er gennem samarbejde at øge den samlede nordiske kompetence på disse områder og at frembringe forskningsresultater, gennemføre øvelser, skabe information, rekommandationer, manualer og andet baggrundsmateriale – idet målgruppen er myndighederne og den nukleare industri.

I indeværende programperiode er det samlede program inddelt i to områder,

- *Reaktorsikkerhed* inklusive radioaktivt affald og afvikling
- *Beredskab* inklusive radioøkologi og beredskabsrelevant information og kommunikation

## 3 Nuklear sikkerhed

### 3.1 Sikkerhedsrelaterede hændelser ved kernekraft

INES-skalaen, "The International Nuclear Event Scale", blev udviklet af IAEA og OECD i 1990 med henblik på at kunne informere om nukleare hændelser eller ulykker på en konsistent og standardiseret form. Skalaen strækker sig fra niveau 1 med ingen eller ringe sikkerhedsbetydning til niveau 7 gældende for en stor ulykke. Se nærmere om INES i appendiks A.

For kraftreaktorernes vedkommende blev der i 2003 kun indrapporteret én INES-3 hændelse og tre INES-2 hændelser til IAEA. Udover disse var der i 2003 syv INES-2 hændelser med radioaktive kilder. Medlemslande af IAEA, der er tilsluttet INES-systemet er forpligtet til at indrapportere hændelser klassificeret på niveau 2 og opefter til IAEA. Hændelser på niveau 1 eller 0, som er under skala, skal kun indrapporteres såfremt disse skønnes at have særlig interesse for andre lande.

Hændelser indrapporteres direkte på IAEA's "NEWS" hjemmeside, hvor alle i øvrigt har adgang til at læse om hændelser af nyere dato, [www-news.iaea.org/news](http://www-news.iaea.org/news). NEWS står for "Nuclear Events Web-based System". Formålet med NEWS er at videreforsmidle autoritativ information om nukleare hændelser, som skønnes at være af interesse for det internationale samfund.

Kun hændelser på kernekraftværker, som er klassificeret på niveau 2 og opefter, vil blive refereret i det følgende. I 2002 forekom der på verdens kernekraftværker en enkelt INES-3 og fem INES-2 hændelser. Set ud fra denne synsvinkel må året 2003 betegnes som et bedre år end 2002 for sikkerheden på verdens kernekraftværker.

#### *Paks-2 hændelsen den 10. april 2003, Ungarn. INES-3*

Atomkraftværket Paks, der ligger ca. 100 km syd for Budapest, består af fire reaktorer af den sovjetiske type VVER-440/213. Årets alvorligste hændelse skete på reaktoren Paks-2. Under den årlige nedlukning, hvor der bl.a. skulle udskiftes brændsel, blev nogle brændselelementer overophedet under rensning af disse.



Baggrunden for uheldet var, at en ukorrekt rensning af enhedens dampgeneratorer i 2001 resulterede i aflejring af magnetit på brændselelementernes overflade. For at fjerne denne belægning ved en kemisk behandling blev elementerne i hold af 30 overført til en rens tank, der var anbragt i enhedens brændselshåndteringsbassin. Det anvendte udstyr var leveret af Framatome ANP, som også forestod rensningen. De første fem rensninger forløb uden problemer, men ved den sjette gik der for lang tid mellem afslutningen af rensningen og udtagning af elementerne, fordi halkanen blev brugt til andre opgaver. Under rensningen anvendtes en kraftig cirkulationspumpe, mens man ved rensningens afslutning gik over til brug af en pumpe med mindre kapacitet. Denne var ikke tilstrækkelig til at sikre kølingen af elementerne i rens tanken, hvorfor vandet i tanken kom i kog, og der dannede sig en dampzone i toppen af elementerne, som igen medførte, at temperaturen steg på zirkoniumindkapslingen, der blev skør. Da man senere åbnede tanken for at tage elementerne ud, fik det indstrømmende kolde vand den skøre indkapsling til at revne. Herved blev radioaktiv krypton- og xenon-gas frigjort til reaktorhallen, der blev rømmet. Ingen ansatte fik alvorlige strålingsdoser og



ingen uden for værket fik målelige doser som følge af uheldet. Der blev i øvrigt sendt information om hændelsen via SMS ud til beboere i en afstand op til 30 km fra værket.

Det beskadigede brændsel vil blive fjernet af det russiske brændselsfirma TVEL, der også har leveret brændslet. IAEA's undersøgelse af uheldet konkluderer, at sikkerhedskulturen ikke har været tilstrækkelig. De ungarske sikkerhedsmyndigheder og Paks-værket har haft for stor tillid til Framatome og ikke foretaget tilstrækkelige egne sikkerhedsvurderinger af det anvendte system, og der har ikke været tilstrækkelig kommunikation mellem Paks og Framatome.

#### *Dungeness-B1 Unit A hændelsen den 11. juli 2003, England. INES-2*

Værket Dungeness, der ligger ca. 100 km SØ for London består af to reaktorer af den ældre Magnox-type og to af den mere moderne AGR-type (Advanced Gascooled Reactor) – alle gaskølede reaktorer, som de fleste andre engelske reaktorer.



Dungeness-B1 Unit A hører til den moderne type. Reaktorens konstruktion er lidt speciel, idet kølemidlet er CO<sub>2</sub>-gas, der varmes op til omkring 675 grader og føres gennem en dampgenerator.

Hændelsen startede med, at en hovedfødevandspumpe faldt ud under drift, hvorved CO<sub>2</sub>-temperaturen steg og reaktoren automatisk blev lukket ned. Nødfødevandspumpen var ude af drift p.g.a. vedligeholdelse, så man var nødsaget til manuelt at aktivere opstart-fødevandspumpen. Under opstarten af denne pumpe blev der problemer med olietilførslen, hvilket resulterede i en brand, som hurtigt blev slukket. Der var nu ikke flere pumper, der kunne arbejde ved de høje tryk, og man blev derfor nødt til at sænke trykket ved åbning af nogle nød-trykreduktionsventiler. Efter sænkning af trykket kunne nedluknings-fødevandspumpen startes. Et system for langsom cirkulation af kølegassen aktiveredes, og dette kombineret med den lave kapacitet af nedlukningspumpesystemet resulterede i en overskridelse af den maksimale gastemperatur på ca. 2 grader i knapt et minut.

Hændelsen blev i første omgang klassificeret som en INES-1 hændelse, men på grund af dårlig sikkerhedskultur i forbindelse med procedurerne for vedligeholdelse blev hændelsen opgraderet til en INES-2 hændelse. Grundlæggende var hændelsen en overskridelse af anlæggets betingelser for drift.

#### *Pickering hændelsen den 14. august 2003, Canada. INES-2*

Kernekraftværket Pickering, der består af otte CANDU-enheder, ligger øst for Toronto i delstaten Ontario.



Den 14. august 2003 blev store dele af Canada og USA ramt af strømsvigt. På det tidspunkt var tre af reaktorerne på Pickering-anlægget i drift ved fuld effekt, en reaktor kørte med reduceret effekt (12 %), men var ikke synkroniseret til nettet, en reaktor var under opstart, og de resterende tre reaktorer befandt sig i nedlukket tilstand. Alle fem reaktorer, der ikke i forvejen var nedlukket, blev sikkert lukket ned, men i en periode på ca. 5½ time efter strømsvigten blev reaktorerne kun kølet ved naturlig cirkulation. Et højtryks nødkølesystem fungerede ikke p.g.a. strømsvigten, og nedlukningskølesystemet var heller ikke til rådighed i ca. 3 timer. Den nedsatte sikkerhed klassificeredes som en

INES-2 hændelse. Under hele forløbet var reaktorerne under kontrol, kølingen af brændselelementerne tilstrækkelig, og reaktorindeslutningen var intakt.

### *Generisk svaghed i vand-recirkulationen på franske PWR-enheder. INES-2.*

På baggrund af hændelsen i 1992 på Barsebäck, hvor nogle filtre tilstoppede, påbegyndte de franske sikkerhedsmyndigheder efterfølgende et forsøgsprogram, der skulle afdække, om en tilsvarende problematik kunne være aktuel for de franske trykvandsreaktorer, der dog har en helt anden udformning end de svenske kogendevandsreaktorer. Electricité de France (EdF) bekræftede ved udgangen af 2003, at ved et fuldstændigt brud



på primærkredsen, en hændelse med uhyre lav sandsynlighed, kan det ikke udelukkes, at løsrevet materiale (f.eks. isoleringsmateriale) kan tilstoppe filtrene i recirkulations-systemet, som skal sikre den fortsatte køling af kernen og skal nedbringe trykket i reaktorindeslutningen.

Problemet er af generel art og omfatter således samtlige franske trykvandsreaktorer. Hændelsesdatoen er arbitrært sat til 31-12-2003. På billedet ses de omtalte filtre i bunden af reaktorbygningen.

## **3.2 Internationale forhold og konflikter**

### **Iran**

Irans nukleare program begyndte i 1956 med købet af en Triga forsøgsreaktor i USA. Landet tilsluttede sig ikke-spredningsaftalen (NPT) i 1970 og indgik i 1974 safeguard-aftale med IAEA. Iran lancerede i midten af 1970'erne et meget ambitiøst program med planer om bygning af mere end 20 kernekraftenheder inden år 2000. Bygningen af det første kernekraftværk (Bushehr) blev påbegyndt i 1975, men byggeriet blev afbrudt af revolutionen i 1979 og den efterfølgende krig med Irak. Siden 1991 har Iran, på trods af en embargo og andet aktivt modarbejde fra USA's side, forsøgt at genstarte byggeriet, og med russisk hjælp ser det nu ud til at Bushehr-1 bliver færdig i 2004.

I løbet af 2002 og 2003 har Iran oplyst IAEA om eksistensen af en række nukleare anlæg i landet, til dels først efter at de samme oplysninger var fremkommet fra andre kilder. Det drejer sig om berigningsfaciliteter ved Natanz og om centrifugeproduktion hos Kalaye Electric Company i Teheran, et anlæg ved Arak til fremstilling af tungt vand, affaldsdepoter ved Anarak og Qom samt oplysninger om nukleart materiale, som ikke tidligere er deklareret.

IAEA har påbegyndt inspektioner af disse senest deklarerede anlæg, og inspektionerne viser, at Iran er kommet ganske langt i sin udvikling af nuklear teknologi. Inspektionerne har bl.a. drejet sig om de to centrifuge-berigningsanlæg ved Natanz, ca. 100 km nord for Isfahan. Det ene er et pilotanlæg bestående af 1000 centrifuger, hvoraf ca. 100 allerede er opstillet. Afprøvningen af en af centrifugerne påbegyndtes i juni 2003. Det andet er et industrielt anlæg, planlagt til 50.000 centrifuger, og hvor installationen ventes påbegyndt i 2005.

IAEA mener, at Iran ikke kan være kommet så langt i udviklingen af berigningsanlæggene uden afprøvning af nogle centrifuger med UF<sub>6</sub> (uranhexafluorid), hvilket skal deklareres ifølge NPT-safeguard aftalen. IAEA har påvist spor af højt beriget uran i

pilotanlægget, men Iran hævder, at der kun er udført forsøg med ædelgasser, og at sporene af højt beriget uran må skyldes, at nogle af de første anlæg var importerede, brugte centrifuger. IAEA har oplyst, at de omtalte centrifuger er af en ældre europæisk konstruktion. Iran har senere erkendt, at man udførte begrænsede centrifugeforsøg med UF<sub>6</sub>, og også at man udvandt begrænsede mængder plutonium af bestrålet uran.

Spørgsmålet om det nukleare materiale, der først for nylig er deklareret overfor IAEA, drejer sig bl.a. om naturligt uran, teoretisk set svarende til 0,13 kg uran af våbenkvalitet. Iran hævder, at dette er under bagatelgrænsen, mens IAEA's holdning er, at alt skal deklareres.

På grund af bl.a. disse forhold er det USA's holdning, at Iran har overtrådt NPT-safeguard aftalerne mens IAEA's Board of Governors begrænsede sig til udtrykket "failed to report". I juni måned opfordrede IAEA Iran til, i lighed med andre NPT-lande, hurtigst muligt at indgå tillægsaftalen til landets safeguard-aftale. Tillægsaftalen udvider IAEA's muligheder for at inspicere nukleare anlæg og indsamle omegnsprøver med henblik på at analysere disse for tilstedeværelsen af nukleart materiale.

Konflikten skærpedes, da IAEA i løbet af efteråret 2003 fandt flere spor både af højt beriget uran og depleteret uran. Iran forklarede i lighed med tidligere, at der måtte være tale om forurenede, importerede komponenter. Herefter krævede IAEA på et møde i september fuld information om Irans atomprogram inden den 31. oktober 2003, hvilket medførte, at Irans repræsentant udvandrede fra mødet.

Der var nu tilsyneladende intern uenighed i Iran om hvilken politik, der skulle føres. Samtidig arbejdede diplomatiet for en genoptagelse af forhandlingerne og den 21. oktober mødtes udenrigsministrene fra Frankrig, Storbritannien og Tyskland med Irans ledelse i Teheran, hvor man enedes om, at Iran giver fuld information om sit atomprogram, at Iran underskriver tillægsprotokollen, og at Iran indtil videre suspenderer sit berigningsarbejde. Til gengæld anerkendte de vesteuropæiske ledere, at Iran har ret til fredelig udnyttelse af kerneenergien, og de erklærede sig villige til samarbejde om udvikling af moderne teknologi.

Den 18. december 2003 underskrev Iran tillægsprotokollen.

## **Nordkorea**

IAEA's mange forsøg på at forhandle med Nordkorea om landets overtrædelser af ikke-spredningsaftalen (NPT) og de tilknyttede safeguard-forpligtelser endte uden resultat i 2002. Nordkorea meddelte, at man ville genoptage det nukleare program med grafitmodererede reaktorer og i december 2002 forlod de sidste IAEA inspektører landet, mens det tekniske kontroludstyr på landets eneste kraftreaktor blev fjernet.

Nordkorea meddelte derefter, at man ville trække sig ud af NPT med virkning fra 11. januar 2003. Den 12. februar 2003 erklærede IAEA, at Nordkorea ikke overholder landets safeguard-forpligtelser og henviste sagen til FN's sikkerhedsråd, sådan som IAEA skal gøre ifølge IAEA's statutter. Samtidig appellerede IAEA til Nordkorea om, at landet skal opfylde sine forpligtelser og samarbejde med IAEA. Sikkerhedsrådet behandlede sagen den 9. april, og konkluderede, at man så på sagen med stor bekymring og ville følge udviklingen nøje.

Kontakterne til Nordkorea blev dog ikke helt indstillet. KEDO, the Korean Peninsula Energy Development Organisation, som har repræsentanter fra EU, Japan, Sydkorea og USA, fortsatte konstruktionsarbejdet på byggepladsen ved Kumho, hvor KEDO ifølge en tidligere aftale med Nordkorea opfører et kernekraftværk med to letvandsreaktorer.

USA har meddelt, at man søger en diplomatisk løsning med hjælp fra Kina, Rusland, Sydkorea og Japan, men den første forhandling i august mellem de seks lande endte uden resultat og uden en aftale om et nyt møde.

Den 21. november meddelte KEDO, at byggearbejdet ved Kumho indstilles i foreløbigt et år fra den 1. december 2003. KEDO begrundede beslutningen med, at Nordkorea ikke havde opfyldt de nødvendige betingelser for at fortsætte projektet.

Omkring nytår inviterede Nordkorea en amerikansk ekspertgruppe til at besøge de atomare anlæg i Yongbyon. Invitationen kan være et tegn på, at de diplomatiske bestræbelser på at få seks-landemødet genoptaget vil lykkes. Foreløbig må IAEA dog konstatere, at man stadig ikke har opnået et fuldstændigt billede af Nordkoreas nukleare aktiviteter.

## **Irak**

Efter invasionen i Irak i marts 2003 rapporterede medierne om plyndringer af et lagerkompleks, der indeholdt nukleare materialer. Lageret, der ligger ved Tuwaitha syd for Baghdad, indeholdt materialer, der hele tiden har været deklareret ifølge IAEA's NPT safeguard aftale med Irak. IAEA anmodede derfor koalitionsstyrkerne om at få adgang til området. Lageret blev sidst verificeret af IAEA i december 2002 og indeholdt lavt beriget, naturligt og depleteret uran i forskellige kemiske forbindelser ( $\text{UO}_2$ ,  $\text{U}_3\text{O}_8$  og  $\text{UCl}_4$ ).

IAEA gennemførte en inspektion af lageret fra den 7. til den 23. juli 2003. Inspektionen viste, at mange beholdere var forsvundet, mens indholdet i andre beholdere var tømt ud på gulvet i lageret. Uranmaterialerne blev samlet sammen, og de fleste af de manglende beholdere blev senere fundet. Inspektionsholdet vurderede at mindst 10 kg uranmateriale er spredt og gået tabt i processen, men at mængden og arten af materialerne ikke udgør et problem set i forhold til ikke-sprednings-aftalen.

## **EU**

EU-kommissionens initiativer vedrørende en fælles holdning til nuklear sikkerhed i EU's medlemslande, som blev præsenteret af EU Kommissær Loyola de Palacios i november 2002, fik den 30. januar 2003 status af kommissionsforslag til to direktiver: Et om sikkerheden ved nukleare anlæg og et om radioaktivt affald. Inden da havde EU-domstolen den 10. december 2002 afgjort, at de nationale myndigheders ansvar for den nukleare sikkerhed ikke udelukker EU fra at lovgive på området.

Det første direktivforslag fastlægger de grundlæggende forpligtelser og de generelle principper for sikkerheden ved nukleare anlæg, fra design til dekommissionering. Forslaget bygger på IAEA's retningslinier på området, men udelukker ikke, at de enkelte lande kan have supplerende bestemmelser. Hvert medlemsland skal have en uafhængig sikkerhedsmyndighed, og forslaget sigter mod fælles regler for, hvorledes EU skal overvåge de nationale sikkerhedsmyndigheders arbejde. Der er altså ikke tale om, at EU skal inspicere nukleare anlæg. EU skal derimod overvåge, at de nationale sikkerhedsbestemmelser gennemføres på en effektiv måde.

Sikkerhed er også et spørgsmål om tilstrækkelige økonomiske ressourcer, især når det drejer sig om dekommissionering. Direktivforslaget indeholder derfor også regler for etablering af de nødvendige uafhængige fonde til finansiering af dekommissioneringen.

Det andet direktivforslag går ud på, at medlemslandene skal udarbejde et program for deponering af radioaktivt affald. Med hensyn til det højaktive affald anbefales en geologisk deponering. En beslutning om et egnet geologisk område skal træffes senest i 2008 og et deponi skal være klar til brug senest 2018. Et deponi for lavaktivt affald skal ifølge forslaget være klar til brug senest i 2013. Man regner med, at medlemslandene vil arbejde sammen om løsningen af affaldsspørgsmålene, men det understreges, at intet medlemsland kan forpligtes til at modtage radioaktivt affald fra et andet medlemsland.



EU-kommissionens overvejelser om kerneenergien i Europa kom også til at spille en rolle i oplægget til en ny EU traktat, en traktat som det imidlertid ikke lykkedes at få vedtaget under Italiens formandskab i 2003. I udkastet blev det for første gang foreslået, at traktaten skulle indeholde en artikel om Europas energiforsyning. Ifølge dette forslag skal medlemsstaterne forpligte sig til at opretholde det indre EU-marked for energi og sørge for en sikker energiforsyning.

# APPENDIKS A: INES, den internationale skala for uheld på nukleare anlæg

På foranledning af IAEA og OECD/NEA blev der i 1990 udviklet en skala til angivelse af den sikkerhedsmæssige betydning af uheld på nukleare anlæg og uheld ved transport af radioaktivt materiale.

Skalaen betegnes INES, International Nuclear Event Scale, og omfatter otte uheldsklasser, fra klasse 0 til 7, se figur. Hændelser, der ikke har nogen sikkerhedsmæssig betydning, placeres i klasse 0, mens meget alvorlige ulykker med udslip af store mængder radioaktivt materiale hører til klasse 7.

Uheldsklassen bestemmes ud fra tre kriterier:

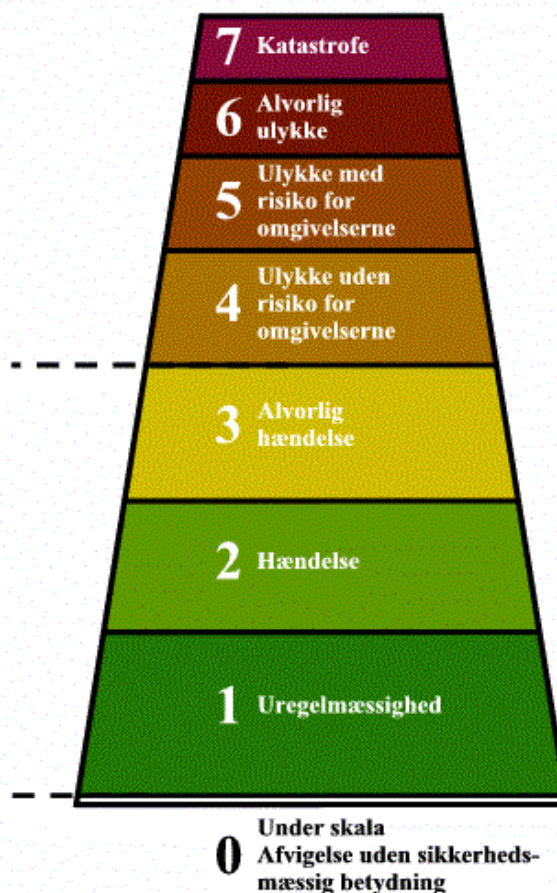
- Påvirkning af omgivelserne
- Påvirkning af anlægget
- Degradering af dybdeforsvaret (anlæggets sikkerhedssystem).

Uheld med påvirkning af omgivelserne ved udslip af radioaktivt materiale er det mest alvorlige kriterium og dækker klasse 3 til 7. Uheld, hvor der udelukkende sker en påvirkning af anlægget, f.eks. skader på reaktorerne eller bestråling af personale, placeres i klasse 2 til 5. Det sidste kriterium, degradering af et anlægs dybdeforsvar, betyder, at en eller flere sikkerheds-barrierer (tekniske/menneskelige) svigter. Uheld, hvor sikkerhedsbarrierer påvirkes, betegnes som hændelser og rubriceres fra klasse 1 til 3. Af de tre kriterier vil det, der giver den højeste klasse for uheldet, være det afgørende kriterium.

I alt 60 lande har i dag tilsluttet sig INES-systemet. Kort efter en hændelse skal ejeren af anlægget, efter samråd med det pågældende lands sikkerhedsmyndighed, beskrive hændelsen med angivelse af en (evt. foreløbig) INES-klasse. IAEA informerer derefter de lande, der har tilsluttet sig systemet, om den indtrufne hændelse og klassificering. Sikkerhedsmyndigheden kan ved behov efterfølgende korrigere klassificeringen, hvis myndigheden efter nærmere analyse finder en anden klasse mere korrekt.

## Eksempler på INES-klasser

- INES-7: Tjernobyl, 1986. Havariet af Tjernobyl-4 reaktoren i det nuværende Ukraine førte til omfattende påvirkninger af mennesker og miljø
- INES-6: Kyshtym, 1957. En ekspllosion på oparbejdningsanlægget i Kyshtym, USSR, medførte at store mængder radioaktivt affald blev spredt til omgivelserne.
- INES-5: Three Mile Island, 1979. Ulykken på kernekraftværket i Pennsylvania medførte en nedsmeltning af reaktorkernen, mens påvirkningen af omgivelserne var meget begrænsede.



- INES-4: Tokai Mura, 1999. Ulykken på brændselsfabrikken Tokai Mura i Japan medførte en kraftig bestråling af personale.
- INES-3: Studsvik, 2002. En forsendelse af radioaktivt materiale fra Studsvik i Sverige til USA viste sig at have et stærkt forhøjet strålingsniveau uden for beholderen.

### Kriterier for klassifikation af ulykker efter INES-skalaen

Trin/ Betegnelse	Begivenhed
<b>7</b> <b>Katastrofe</b>	Udslip til omgivelserne af en stor del af det radioaktive materiale i et stort anlæg, f.eks. reaktorkernen på et kernekraftværk. Udslippet vil bestå af en blanding af kort- og langlivede radioaktive fissionsprodukter og kan føre til akutte stråleskader, sene stråleskader i et større område samt medføre alvorlige miljøkonsekvenser.
<b>6</b> <b>Alvorlig ulykke</b>	Udslip til omgivelserne af radioaktivt materiale. Udslippet vil typisk kræve fuld iværksættelse af modforholdsregler for at modvirke alvorlige stråleskader.
<b>5</b> <b>Ulykke med risiko for omgivelserne</b>	Udslip til omgivelserne af begrænsede mængder radioaktivt materiale. Udslippet vil typisk kræve delvis iværksættelse af modforholdsregler for at mindske sandsynligheden for stråleskader. Alvorlig skade på det nukleare anlæg, f.eks. skade på en stor del af en reaktorkerne, et stort kritikalitetsuheld, eller en brand, hvor større mængder radioaktivt materiale frigives inden for anlægget.
<b>4</b> <b>Ulykke uden risiko for omgivelserne</b>	Udslip til omgivelserne af mindre mængder radioaktivt materiale, resulterende i strålingsdoser til de mest udsatte personer på nogle få millisievert (mSv). Udslippet kræver næppe iværksættelse af modforholdsregler, bortset fra eventuel lokal fødevarekontrol. Større skader på et kernekraftværk, f.eks. en delvis kernenedsmeltning, eller tilsvarende hændelser på andre nukleare anlæg. Bestråling af en eller flere arbejdere på anlægget, som medfører en stor sandsynlighed for dødsfald.
<b>3</b> <b>Alvorlig hændelse</b>	Radioaktivt udslip til omgivelserne ud over de tilladte værdier, resulterende i strålingsdoser til de mest udsatte personer udenfor anlægget på nogle tiendedele af en millisievert. Udslippet vil muligvis ikke nødvendiggøre iværksættelse af modforholdsregler. Hændelse, hvor strålingsdoser til en eller flere arbejdere på anlægget kan føre til akutte stråleskader; hændelse som resulterer i en alvorlig radioaktiv forurening af et område indenfor anlægget. Hændelse med store svigt i sikkerhedssystemet, hvor yderligere svigt af sikkerhedssystemet kan føre til en ulykke.
<b>2</b> <b>Hændelse</b>	Hændelse med store svigt i sikkerhedsforholdene, men med tilstrækkelig dybdeforsvar tilbage til at modstå yderligere svigt. Hændelse hvor en eller flere arbejdere får en strålingsdosis, der overskrider den tilladte årlige grænseværdi; hændelse som resulterer i en betydende radioaktiv forurening i dele af anlægget.
<b>1</b> <b>Uregelmæssighed</b>	Hændelse, hvor betingelserne for drift overskrides, f.eks. ved afvigelse fra tekniske specifikationer eller brud på transport-regulativer, men hvor dybdeforsvaret fortsat er betydeligt.

# APPENDIKS B: Internationale organisationer

## EURATOM

EURATOM er en af EU's oprindelige traktater. Hovedelementerne i traktaten er strålingsbeskyttelse af såvel arbejdstagere som befolkningen i almindelighed, forsyning med fissile materialer, sikring af sådanne materialer mod misbrug til uautoriserede formål (safeguards) og generelle aspekter som forskning og formidling af information. Sikkerhed ved drift af nukleare anlæg og håndtering af radioaktivt affald har primært været nationale anliggender med internationalt samarbejde omkring standardisering og "best practice" m.m. I de senere år har kommissionen imidlertid også taget initiativer på disse områder, f.eks. har den i 2003 foreslået direktiver vedr. sikkerhed ved nukleare anlæg og håndtering af radioaktivt affald.

<http://euratom.org>

## IAEA

International Atomic Energy Agency (IAEA) er en uafhængig international organisation under FN, som har til formål at fremme det internationale videnskabelige og teknologiske samarbejde om den fredelige udnyttelse af nuklear teknologi, herunder kernekraft-teknologi. Organisationen blev grundlagt i 1957 som en kulmination af de internationale bestræbelser for at følge op på Præsident Eisenhowers "Atoms for Peace" program fra 1953. Med udgangen af april 2002 havde organisationen 134 medlemsstater.

IAEA formidler overførsel af nuklear teknologi og viden på området til udviklingslandene. IAEA udvikler standarder inden for nuklear sikkerhed og arbejder derigennem på at opnå og vedligeholde et højt niveau for sikkerheden ved nuklear energiproduktion og for beskyttelsen af mennesker og miljø mod de skadelige virkninger af ioniserende stråling. Som et led i ikke-spredningsaftalen (NPT) overvåger IAEA, at de nukleare anlæg og materialer, som medlemsstaterne har tilmeldt IAEA's inspektionssystem, kun anvendes til fredelige formål.

IAEA har hovedkvarter i Wien, Østrig, hvor der er ansat ca. 2200 medarbejdere.

[www.iaea.org](http://www.iaea.org)

[www.iaea.org/programmes/a2/index.html](http://www.iaea.org/programmes/a2/index.html): IAEA's Nuclear Power Reactor Information System (PRIS), med data om verdens kernekraftværker mv.

[www-news.iaea.org/news](http://www-news.iaea.org/news): IAEA's Nuclear Events Web-based System, med information om INES-hændelser.

## OECD/NEA

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) er udsprunget af Organisation for European Economic Co-operation (OEEC), som blev oprettet for at administrere Marshall-planen for den europæiske genopbygning efter 2. verdenskrig. OECD har i dag 30 medlemslande, der alle bekender sig til en demokratisk regeringsform og markedsøkonomi. OECD's opgave er at støtte medlemslandenes økonomiske og administrative udvikling og fremme samarbejdet mellem landene inden for økonomi, uddannelse, teknologi og forskning m.m. Nuclear Energy Agency (NEA) er en delvist selvstændig organisation inden for OECD. NEA's formål er at støtte medlemslandenes fortsatte udvikling af det videnskabelige, teknologiske og lovgivningsmæssige grundlag for en sikker, miljøvenlig og økonomisk udnyttelse af kerneenergien til

fredelige formål. NEA har et tæt samarbejde med EU-kommissionen og en samarbejdsaftale med IAEA. NEA samarbejder også med ikke-medlemslande i Central- og Østeuropa. NEA har i dag 28 medlemslande.

NEA støtter en række samarbejdsprojekter medlemslandene imellem vedrørende nuklear sikkerhed, strålingsbeskyttelse, håndtering af radioaktivt affald og dekommissionering m.m. NEA's øverste myndighed er Steering Committee for Nuclear Energy og har sit hovedsæde i Paris, Frankrig. Arbejdet er organiseret i en række komitéer med deltagelse af mere end 500 eksperter fra medlemslandene.

[www.nea.fr](http://www.nea.fr)

## **UNSCEAR**

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) er en videnskabelig komité under FN. Den blev etableret i 1955 som reaktion på de atmosfæriske prøvesprængninger af nukleare våben og det medfølgende globale radioaktive nedfald. Det er komiteens opgave at indsamle og evaluere information om niveauerne af ioniserende stråling og radioaktivitet stammende fra både menneskeskabte og naturlige kilder og at studere de mulige virkninger på mennesker og miljø.

UNSCEAR består af videnskabsmænd fra 21 medlemslande. Danmark er ikke medlem. De 21 medlemslande har hver én repræsentant i komiteen. Komiteen og sekretariatet arbejder sammen med videnskabsmænd over hele verden for at etablere databaser over eksponeringer til ioniserende stråling og information om eksponeringernes virkning. UNSCEAR's hovedsæde ligger i Wien.

[www.unscear.org](http://www.unscear.org)

## **WENRA**

Western European Nuclear Regulators' Association (WENRA) er en sammenslutning af lederne af de vesteuropæiske landes nukleare tilsynsmyndigheder. Sammenslutningen omfatter Belgien, Finland, Frankrig, Tyskland, Italien, Holland, Spanien, Sverige, Schweiz og Storbritannien. Sammenslutningens formål er at udvikle en fælles tilgang til kernekraftsikkerhed med hovedvægten på EU-området.

## **WANO**

The World Association of Nuclear Operators (WANO) er en uafhængig, global sammenslutning af alle selskaber, der driver kernekraftværker. WANO formidler samarbejde og udveksling af driftserfaringer mellem operatørerne med det formål at opnå den højest mulige sikkerhed og pålidelighed for kernekraftværkerne.

[www.wano.org.uk](http://www.wano.org.uk)

## **WNA**

The World Nuclear Association (WNA) er en global sammenslutning af industrivirksomheder, der arbejder indenfor den nukleare industri, omfattende kernekraftværker og alle aspekter af brændselskredsløbet. WNAs formål er at være det globale forum for den nukleare industri og at informere om nukleare spørgsmål.

[www.world-nuclear.org](http://www.world-nuclear.org)

## **Nordiske myndigheder**

*Beredskabsstyrelsen, Danmark*

[www.brs.dk](http://www.brs.dk)

[www.brs.dk/nuc/default.asp](http://www.brs.dk/nuc/default.asp): Beredskabsstyrelsens Nukleare Kontor; oplysninger om det danske atomberedskab.

[www.info.nucinfo.dk/denmark](http://www.info.nucinfo.dk/denmark): Nucinfo, Beredskabsstyrelsens informationsværktøj vedrørende nukleare forhold.

*Statens Institut for Strålehygiejne (SIS), Danmark*

[www.sis.dk](http://www.sis.dk)

*Geislavarnir Ríkisins, Island*

[www.gr.is](http://www.gr.is)

*Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK), Finland*

[www.stuk.fi](http://www.stuk.fi)

*Statens Strålevern, Norge*

[www.nrpa.no](http://www.nrpa.no)

*Statens kärnkraftinspektion (SKI), Sverige*

[www.ski.se](http://www.ski.se)

*Statens Strålskyddsinstitut (SSI), Sverige*

[www.ssi.se](http://www.ssi.se)

# APPENDIKS C: Anvendte forkortelser

ABWR	Advanced Boiling Water Reactor, General Electric's avancerede kogendevandsreaktor
ACR-700	Advanced CANDU Reactor, avanceret udgave af CANDU reaktoren på 700 MWe
ACR-1000	Advanced CANDU Reactor, avanceret udgave af CANDU reaktoren på 1000 MWe
AECL	Atomic Energy of Canada Ltd, det statslige, canadiske selskab for kerneenergiudvikling
AGR	Advanced Gas-cooled Reactor, den engelske, avancerede gaskølede reaktor
ANP	Advanced Nuclear Power
AP-600	Westinghouse's avancerede trykvandsreaktor på 600 MWe
AP-1000	Westinghouse's avancerede trykvandsreaktor på 1000 MWe
AREVA	Fransk energikonsortium
ARGOS	Accident Reporting and Guiding Operational System, Beredskabsstyrelsens beslutningsstøtteprogram
ASE	Atomstoyexport, russisk firma med monopol på russisk nuklear eksport
BE	British Energy, det engelske el-selskab, der ejer de fleste britiske kernekraftværker
BN	Bystrokh Nejtronakh, hurtige neutroner. Russisk version af hurtigreaktoren
BNFL	British Nuclear Fuels Plc., britisk, statsligt kernebrændsels- og reaktorfirma
BPP	Bruce Power Partnership. Datterselskab af British Energy, der har lejet reaktorer af Ontario Power Generation
BREST	Russisk hurtigreaktorprojekt med bly-vismut-køling
BRS	Beredskabsstyrelsen
BWR	Boiling Water Reactor, kogendevandsreaktor
CANDU	Canadian Deuterium Uranium, den canadiske tungtvandsreaktor af trykrørstypen
CEZ	Det tjekkiske el-selskab
CO <sub>2</sub>	Kuldioxid
DMI	Danmarks Meteorologiske Institut
DOE	Department of Energy, det amerikanske energiministerium
EBRD	European Bank for Reconstruction and Development, den europæiske udviklingsbank for Central- og Østeuropa
EdF	Electricité de France, det statslige franske el-selskab
EPR	European Pressurized Reactor, trykvandsreaktor under udvikling i et samarbejde mellem Framatome og Siemens
ESBWR	Evolutionary Simplified Boiling Water Reactor, den amerikanske reaktorleverandør General Electric's udgave af en avanceret kogendevandsreaktor med passive og simple sikkerhedssystemer
Eskom	Sydafrikansk el-selskab
ESP	Early Site Permit, forhåndsgodkendelse af arealer til bygning af kernekraftenheder
EU	Den Europæiske Union
EURATOM	European Atomic Energy Treaty, EU traktat om atomenergi
FBR	Fast Breeder Reactor, hurtig formeringsreaktor
Framatome	Fransk/tysk reaktorleverandør

GCR	Gas Cooled Reactor
GE	General Electric, amerikansk reaktorleverandør
GFR	Gas-cooled Fast Reactor, en gaskølet hurtigreaktor
GIF	Det internationale generation IV forum
GT-MHR	Gas-turbine Modular Helium Reactor, højtemperatur gaskølet reaktor designet af General Electric
GW	Gigawatt. 1 GW = 1000 MW
GWe	Gigawatt elektrisk
G7	USA, Japan, Tyskland, Frankrig, UK, Italien, Canada og Rusland
He	Helium
HTGR	High Temperature, Gas Cooled, Graphite Moderated Reactor, højtemperatur, gaskølet, grafitmodereret reaktor
HWLWR	Heavy Water Moderated, Boiling Light Water Cooled Reactor, tungtvandsmodereret, letvandskølet kogendevandsreaktor
IAEA	International Atomic Energy Agency, FN's atomenergiagentur
INES	International Nuclear Event Scale, international skala for kerneenergiuheld
INPRO	Russisk initieret internationalt program for udvikling af nye reaktortyper inden for rammerne af IAEA
IRIS	International Reactor Innovative & Secure, Westinghouse BNFL's bud på et simplificeret og innovativt PWR-design
KAERI	Korea Atomic Energy Research Institute, sydkoreansk forskningsinstitut
KEDO	Koreansk organisation for energiudvikling
KLT-40S	Russisk trykvandsreaktor designet til flydende kernekraftværker
kW	kilowatt
LFR	Lead-cooled Fast Reactor, en blykølet hurtigreaktor
LWR	Light Water Reactor, letvandsreaktor
MINATOM	Det russiske kerneenergiministerium
MNEPR	Multilateral Nuclear Environmental Program, multilateral program for oprensning af nukleare anlæg i Nordvestrusland
MOX	Mixed OXide fuel, reaktorbrændsel fremstillet af en blanding af plutonium- og urandioxid
MSR	Molten Salt Reactor, en reaktor med et flydende salt som brændsel og kølemiddel
mSv	millisievert, 1 Sv = 1000 mSv
MW	Megawatt, 1 MW = 1000 kW
MWe	Megawatt elektrisk
MWt	Megawatt termisk
NEA	Nuclear Energy Agency, OECD's kerneenergiorganisation
NKS	Nordisk kernesikkerhedsforskning
NPT	Non Proliferation Treaty
NRC	Nuclear Regulatory Commission, USA's reaktorsikkerhedsmyndighed
NSWG	G7 landenes arbejdsgruppe om nuklear sikkerhed
NucInfo	Beredskabsstyrelsens nukleare informationssystem
NucSpec	Beredskabsstyrelsens program til analyse af målinger
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
OEEC	Organisation for European Economic Co-operation
OMZ	Russisk maskinfirma, United Engineering Plants
OPG	Ontario Power Generation, canadisk el-selskab (alias Genco)
PBMR	Pebble Bed Modular Reactor, sydafrikansk reaktorprojekt
PHWR	Pressurized Heavy Water Reactor, canadisk trykvandsreaktor baseret på tungt vand, identisk med Candu
PRIS	Nuclear Power Reactor Information System, IAEA database om verdens kernekraftværker



PWR	Pressurized Water Reactor, trykvandsreaktor
RAO ESS	Russisk el-netselskab
RBMK	Reaktor-stor-effekt-kanaltype, russisk reaktor med grafit moderator og kogendevandskøling (Tjernobył-typen)
RODOS	Real time On-line DecisiOn Support system for nuclear emergency management
RWE	Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk, tysk el-selskab
SCWR	SuperCritical-Water-cooled Reactor, en superkritisk vandkølet reaktor
SE	Slovenské Elektrárne, slovakisk el-selskab
SFR	Sodium-cooled Fast Reactor, en natriumkølet hurtigreaktor
SIS	Statens Institut for Strålehygiejne
SKI	Statens kärnkraftinspektion, den svenske reaktorsikkerhedsmyndighed
SMART	System-Integrated Modular Advanced Reactor, modulær avanceret reaktor med dampgeneratorer integreret i reaktortanken
SMS	Short Message Services
SPD	Sozialdemokratische Partei Deutschlands, tysk politisk parti
SSI	Statens StrålskyddsInstitut (Sverige)
STUK	Den finske myndighed for nuklear- og strålingssikkerhed
SWR-1000	SiedeWasser Reaktor, Framatome ANP's udgave af en kogendevandsreaktor med passive sikkerhedssystemer
System 80+	Avanceret trykvandsreaktor specielt egnet til at anvende plutonium som brændsel
Sv	Sievert, måleenhed for virkning af stråling
Tepco	Tokyo Electric Power Company, japansk elselskab
TVEL	Russisk reaktorbrændselsproducent
TVO	Teollisuuden Voima Oy, finsk el-selskab
TWh	Terawatt-time. 1 TWh = 1 milliard kWh
U	Uran
<sup>235</sup> U	Uran-235, spaltelig uranisotop
<sup>238</sup> U	Uran-238, spaltelig uranisotop
UCl <sub>4</sub>	Uranklorid
UF <sub>6</sub>	Uranhexafluorid, "hex"
UK	United Kingdom
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, videnskabelig komité under FN om virkninger af stråling
UO <sub>2</sub>	Urandioxyd
U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Uranilte, "yellow cake"
USD	Amerikanske dollar
VHTR	Very High Temperature Reactor, en reaktor med meget høj driftstemperatur (1000 °C)
VVER	Vand vand energi reaktor, russisk udgave af trykvandsreaktoren
WANO	World Association of Nuclear Operators
WENRA	Western European Nuclear Regulators Association
WNA	The World Nuclear Association, global sammenslutning af virksomheder inden for den nukleare industri

Title and author

Nuclear Power and Nuclear Safety 2003 (in Danish)

Edited by B. Lauritzen, B. Majborn, E. Nonbøl and P.L. Ølgaard

ISBN

ISSN

87-550-3305-9

0106-2840

87-550-3306-7 (Internet)

1395-5101

Department or group

Date

Radiation Research

March 2004

Groups own reg. number(s)

Project/contract No(s)

Pages

40

Tables 2

Illustrations 9

References

Abstract (Max. 2000 characters)

The report, "Kernkraft og nuklear sikkerhed 2003" (Nuclear power and nuclear safety 2003) is the first report in a new series of annual reports on the international development of nuclear power production, with special emphasis on safety issues and nuclear emergency preparedness. The report series is written in collaboration between Risø National Laboratory and the Danish Emergency Management Agency and replaces the previous series, "International kernkraftstatus" (International Nuclear Power Status). The report for 2003 covers the following topics: status of nuclear power production and regional trends, development of reactors and emergency management systems, safety-related events with nuclear power production, and international relations and conflicts.

Descriptors INIS/EDB

AFRICA; ASIA; AUSTRALIA; BWR TYPE REACTORS; EASTERN EUROPE; FAST REACTORS; GAS COOLED REACTORS; HEAVY WATER MODERATED REACTORS; NORTH AMERICA; NUCLEAR POWER PLANTS; NUCLEAR POWER; PWR TYPE REACTORS; REACTOR ACCIDENTS; REACTOR SAFETY; SOUTH AMERICA; WESTERN EUROPE; CENTRAL EUROPE

Available on request from Information Service Department, Risø National Laboratory, (Afdelingen for Informationsservice, Forskningscenter Risø), P.O.Box 49, DK-4000 Roskilde, Denmark. Telephone +45 46 77 40 04, Telefax +45 46 77 40 13